

MASTER EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Mention : BIODIVERSITÉ TROPICALE

Spécialité : Écosystèmes naturels et exploités

**Évaluation de l'impact d'une bordure de maïs sur les
populations d'*Helicoverpa zea* et de *Bemisia tabaci* sur
une culture de tomate**

TREBEAU Metty



Directeur de stage :
RHINO Béatrice

Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique
Quartier Petit Morne - BP 214 - 97285 Le Lamentin Cedex 2
Mémoire soutenu le : 28/06/2010

Résumé :

La noctuelle de la tomate (*Helicoverpa zea*) et l'aleurode (*Bemisia tabaci*) représentent une menace majeure parmi les ravageurs aériens des cultures de tomate en Martinique. Les méthodes de lutte chimiques étant totalement inefficaces, des méthodes alternatives sont testées.

L'objectif de la présente étude consiste à évaluer la distance d'impact d'une bordure de maïs en tant que culture piège sur la population d' *Helicoverpa zea*, ainsi que l'effet de barrière physique de cette bordure contre *Bemisia tabaci*. L'infestation de la parcelle de tomate a été observée en fonction de distances avec la bordure de maïs (2m, 5m, 10m, 15m, 20m, 30m, 40m et 50m). Les observations dans la bordure de maïs ont été effectuées sur la population de chenille d' *Helicoverpa zea* et sur la mésofaune de la bordure.

Les résultats révèlent une infestation extrêmement faible de la parcelle de tomate en comparaison de celle du maïs, avec une tendance à la diminution lorsque l'on s'éloigne de la bordure de maïs.

Le système de culture piège constitue une alternative au contrôle chimique des bioagresseurs des cultures de tomates. Les études à venir devront approfondir les informations collectées au cours de cette étude afin d'optimiser ce système de culture.

Mots clés : *Helicoverpa zea*, *Solanum lycopersicum*, *Zea mays*, Plante piège, Agroécologie, *Bemisia tabaci*, bioagresseurs, Plante hôte, Plante de bordure.

Abstract :

The corn earworm (*Helicoverpa zea*) and whitefly (*Bemisia tabaci*) represents a major threat for the tomato cultures in Martinique. The chemical control methods being totally ineffective, alternative methods are tested.

The objective of the present study consists in estimating the distance of impact of a border of corn as trap plants on the population of *Helicoverpa zea*, as well as the effect of physical barrier of this border against *Bemisia tabaci*.

The infestation of the tomato plot was observed according to distances with the border of corn (2m, 5m, 10m, 15m, 20m, 30m, 40m and 50m). The observations in the border of corn were made on the population of *Helicoverpa zea* larvae and on the mesofauna of the border.

The result reveals an extremely low infestation of the tomato plot by comparison with the corn, with a tendency to the decrease when we go away from the border of corn.

The system of trap cropping constitutes an alternative in the chemical control of pest organism in the cultures of tomatoes. The in coming studies have to go further into the information collected during this study to optimize this system of culture.

Keywords : *Helicoverpa zea*, *Solanum lycopersicum*, *Zea mays*, Trap plant, Agroecology, *Bemisia tabaci*, pest organism, Host plant, Border plant.

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mon maître de stage Béatrice Rhino pour son encadrement particulièrement formateur tout au long de ce stage et son aide à la rédaction de mon mémoire.

Je remercie mon tuteur pédagogique Harry Ozier-Lafontaine pour ses conseils.

Je remercie Philippe Tixier pour avoir accordé un peu de son temps pour le traitement statistique des données.

Je remercie aussi monsieur Jean-Claude Gertrude pour les informations apportées sur les itinéraires techniques de tomate.

Je souhaite remercier l'équipe administrative du PRAM et particulièrement Evelyne Kilota et Justine Lordinot pour leur grande disponibilité.

Enfin j'adresse des remerciements particuliers au "bureau 405" Catherine Thibaut, Sonia Minatchi et Rémi Asencio, ainsi qu'à Alain Pelage, pour le travail effectué sur le terrain, le partage de leurs connaissances et expériences, leur patience, leurs nombreux conseils, leur bonne humeur et l'aide apportée au cours de ces 5 mois.

Sommaire

Remerciements

Résumé/Abstract

INTRODUCTION	1
I PRESENTATION ET CONTEXTE DE L'ETUDE	3
1. Activité agricole en Martinique	3
2. La tomate en Martinique	3
2.1 Mode de culture de la tomate	4
2.2 Les principaux bioagresseurs de la tomate et les méthodes de lutte	5
a) <i>Helicoverpa zea</i> . (Boddie, 1850).....	5
b) <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius, 1889).....	7
c) <i>Ralstonia solanacearum</i>	9
3. La gestion agroécologique des bioagresseurs	10
3.1 L'agroécologie : le concept.....	10
3.2 L'agroécologie appliquée à la protection des cultures	12
3.3 Les plantes de services, un outil de biodiversité.....	13
3.4 Les plantes pièges.....	14
a) Fonctionnement d'une culture piège.....	14
b) Caractéristiques d'une culture piège.....	15
c) Limites du concept de culture piège.....	15
3.5 Le maïs au secours de la tomate ? <i>Zea mays</i> , (L., 1753)	16
II MATERIEL ET METHODES	18
1. Site d'expérimentation.....	18
2. Matériel végétal.....	18
3. Dispositif expérimental (Figure 12)	18
4. Observations	20
5. Analyses statistiques.....	22
III RESULTATS	23
1. Evaluation du développement du maïs en comparaison à celui de la tomate... 23	
2. Colonisation de la bordure de maïs par <i>Helicoverpa zea</i>	24
3. Autres insectes dans la bordure de maïs	26
4. Présence d' <i>Helicoverpa zea</i> dans la tomate	28
5. Présence de <i>Bemisia tabaci</i> dans le milieu.....	29
IV DISCUSSION.....	30
V CONCLUSION	35
Bibliographie	36

Annexe 1

Annexe 2

Annexe 3

Annexe 4

INTRODUCTION

Le Pole de Recherche Agronomique de la Martinique (P.R.A.M) regroupe 3 instituts de recherche : le Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) ; l'institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement (CEMAGREF) ; l'Institut de recherche pour le développement (IRD). Il accueille aussi des chercheurs de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et de l'Université Antilles-Guyane (UAG). Le PRAM a pour principale orientation la diversification des productions agricoles et la réduction des effets des pratiques culturales sur l'environnement. En Martinique, les chercheurs de l'unité Hortsys du CIRAD (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticolas) ont pour mission de contribuer à la conception de systèmes de cultures innovants en développant des pratiques culturales permettant de réduire la pression des bioagresseurs, d'améliorer la fertilité des sols tout en limitant les intrants.

L'essai décrit dans ce rapport s'inscrit dans le cadre du projet d'Optimisation des Mécanismes Ecologiques de Gestion des bioagresseurs pour une Amélioration durable de la productivité des agrosystèmes (OMEGA3).

Ce projet a pour principal objectif d'améliorer la compréhension des méthodes de lutte agroécologiques en introduisant dans les agrosystèmes une diversité végétale planifiée, afin de limiter les impacts de bioagresseurs.

Il s'agira au cours de ce projet de mieux comprendre :

- (i) les comportements et réactions des bioagresseurs dans le but de réduire la population dans le milieu.
- (ii) les modes d'associations spatio-temporelles à employer afin d'optimiser les effets de la diversité végétale sur les populations de bioagresseurs.
- (iii) les principes de gestion des bioagresseurs par détournement stimulo-dissuasif avec des molécules mimétiques de processus liés à la diversité végétale spécifique.

Enfin, le projet contribuera à réduire les impacts environnementaux négatifs d'une utilisation massive d'intrants chimiques, et à réduire la pauvreté, par une intensification écologique de systèmes traditionnels peu productifs.

Dans le cadre de ce projet, une étude est menée en Martinique sur l'optimisation de l'agencement spatial et de la phénologie du maïs comme plante piège pour réguler les populations et dégâts des noctuelles de la tomate dans les systèmes horticoles. Les dégâts engendrés par les noctuelle et aleurodes, ainsi que leurs conséquences économiques sur la production de tomate martiniquaise sont autant de raisons qui ont obligé les producteurs soit à abandonner cette culture, soit à intensifier l'utilisation d'intrants chimique sur leurs exploitations. Les mesures de lutte intégrée des cultures étant insatisfaisantes, cette étude vise aussi à relancer la filière martiniquaise avec de nouvelles méthodes culturales respectueuses de l'environnement.

L'objectif de l'essai est donc d'évaluer la zone d'influence d'une bordure de maïs, comme plante piège et barrière physique, sur les populations et dégâts de la noctuelle de tomate, *Helicoverpa zea*, et de l'aleurode *Bemisia tabaci* dans une parcelle de tomate.

En première partie, la synthèse bibliographique détaillera le contexte général de cette étude, et fera la présentation des différents concepts et méthodes agroécologiques. Dans une seconde partie, les dispositifs, matériels et méthodes d'observations et de traitement des données employés au cours de cet essai seront décrits. Enfin, les résultats obtenus seront présentés et discutés dans les troisième et quatrième parties.

I PRESENTATION ET CONTEXTE DE L'ETUDE

La Martinique, plus petit département français d'outre mer dans l'archipel des Petites Antilles, a une superficie de 1128 km². Avec son climat insulaire tropical sous le régime des Alizés d'Est, l'île jouit de températures variant entre 25 et 28°C et présente une pluviométrie annuelle entre 1500mm et 6000mm, avec une saison pluvieuse allant généralement de juillet à novembre (sauf exceptions de ces deux dernières années) durant laquelle le bilan hydrique peut être sérieusement excédentaire.

1. Activité agricole en Martinique

Le secteur agricole martiniquais représentait en 2007 4% du PIB du département ainsi que 7.7% des emplois directs (Moriame et Frenet, 2008).

Bien que la proportion de Surface Agricole Utilisée (S.A.U) par rapport à l'ensemble de la surface de l'île ait augmentée (23% en 2007, 25% en 2008), la proportion des S.A.U consacrée au maraîchage a diminuée (9% en 2007, 7% en 2008 soit 2450ha) face aux grandes filières intensives (banane et canne) qui demeurent donc majoritaires (respectivement 21% et 15% en 2008) (Agreste, 2008). La filière présente pourtant un fort potentiel, 12 894 tonnes de légumes frais ont été importés en Martinique sur l'année 2008 (DAF, 2008).

2. La tomate en Martinique

En 2009, seulement 300ha ont été consacrés à la culture de tomate, qui demeure pourtant une culture à forte valeur ajoutée. La production locale a chuté, passant de 6700 tonnes en 2002 à 5720 tonnes en 2009, sous l'attaque répétée de flétrissement bactérien, virus et autres ravageurs, le nord caraïbe (où la culture de la tomate était des plus importantes de l'île) étant particulièrement touché.

2.1 Mode de culture de la tomate

Solanum lycopersicum (L., 1753)

Règne : Plantae, **Sous-règne :** Tracheobionta, **Division :** Magnoliophyta, **Classe :** Magnoliopsida, **Sous-classe :** Asteridae, **Ordre :** Solanales, **Famille :** Solanaceae.



Figure 1 Dessin d'un plant de tomate de K.TOMLINSON

Plante herbacée originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, la tomate est généralement cultivée comme

annuelle et sous presque toutes les latitudes.

Chez les variétés à croissance indéterminé, chaque bouquet floral (jaune en étoiles) est séparé par trois feuilles, alors que chez les variétés à croissance déterminé, les inflorescences sont séparées par deux feuilles, puis une feuille, avant de se retrouver en position terminale sur la tige.

Son port dressé en début de croissance, devient retombant au fil de la croissance et de la ramification des tiges, c'est pourquoi le tuteurage est souvent nécessaire.

La tomate est une culture qui peut tolérer certaines variations de pH (bien que son optimum se situe entre 6 et 7), et parvient à se développer dans un sol relativement acide (avec apports nutritifs équilibrés). Elle est par contre exigeante en température, craint le froid (zéro de germination à 12C°) et les coups de chaleurs. Son optimum de croissance se situe entre 15C° la nuit et 25C° le jour.

En Martinique, le facteur limitant est l'eau, ce qui explique la baisse de production lors de la période de sécheresse du carême.

Heat master est la variété la plus fréquemment cultivée en Martinique (SECI, 2002) car présentant les meilleurs rendements.

Cependant, elle est sensible au flétrissement bactérien et aux viroses.

2.2 Les principaux bioagresseurs de la tomate et les méthodes de lutte

Parmi les bioagresseurs de la tomate aux Antilles, la noctuelle de la tomate *Helicoverpa zea*, l'aleurode *Bemisia tabaci* et la bactérie *Ralstonia solanacearum* sont les plus importants.

a) *Helicoverpa zea*. (Boddie, 1850)

Phylum: Arthropoda, **Classe:** Insecta, **Ordre:** Lepidoptera



Figure 2 Adulte *H.zea* (Fredon 972)



Figure 3 Œufs d' *H.zea* (Hübner)



Figure 4 Chenilles

Helicoverpa zea est présent dans toute la caraïbe et le continent américain.

Les principales caractéristiques contribuant au statut de ravageur majeur de la noctuelle sont :

- Insecte ubiquiste, hautement polyphage, dont les larves s'attaquent à de nombreuses espèces sauvages et de plantes cultivées tels que maïs, sorgho, coton, soja, tournesol, tomate et tabac (Fitt, 1989)

- Capacité de migration importante, 2 à 3 km/nuit (King, Coleman, 1989)

- Haute fécondité, chaque femelle, au cours de son cycle, peut déposer de 500 à 3000 œufs et jusqu'à 35 oeufs par jour (Capinera, 2007). Les oeufs sont déposées de préférence sur la surface des feuilles (recto et verso) (Snodderly et Lambdin, 1982).

Cependant, au fur et à mesure de leur développement, les chenilles deviennent très agressives et donc cannibales, réduisant la population présente sur une même plante hôte.

- Cycle de développement court d'environ 30 jours (Capinera, 2007). Les œufs éclosent au bout de 3 à 4 jours, puis les larves se développent en 6 stades durant 16 jours.

Les chenilles matures quittent ensuite leur site d'alimentation afin de rejoindre le sol pour la phase de nymphose qui dure environ 13 jours en conditions optimales. L'adulte vit de 5 à 15 jours, bien qu'il puisse survivre pendant plus de 30 jours dans des conditions optimales, et la période de ponte commence environ trois jours après l'émergence de l'adulte, continuant jusqu'à la mort.

Les dégâts sont faits par le stade larvaire de la noctuelle. Les femelles déposent leurs oeufs séparément sur les feuilles ou les soies (cas du maïs). Puis les larves recherchent alors un site d'alimentation approprié, le plus fréquent étant la structure reproductrice de la plante.

Ainsi, les larves sont souvent trouvées associées à des structures de la plante comme les fleurs, les embryons et les fruits. Ce qui aurait pour conséquence dans certains cas de gêner la pollinisation de certaines plantes hôtes (en particulier chez le maïs).

La noctuelle attaque les cultures de tomate, de préférence en période de floraison. Les femelles pondent sur la 1^{ère} feuille au dessous des bouquets floraux, puis, à partir du 3^{ème} stade, les larves pénètrent dans les fruits pour se nourrir les chenilles ne consomment qu'une partie pour ensuite s'attaquer à un autre (Nault et Speese, 2002; Torres-Vila et al. 2003).



Figure 5 Chenilles sortant de la tomate P.Ryckeweart

Afin de contrôler contre ce ravageur, la Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles de la Martinique (FREDON 972), préconise la lutte chimique raisonnée avec l'emploi de produits ovicides (indoxacarbe) à la période de floraison auxquels s'ajoutent l'emploi de produits larvicides (deltamethrine, *Bacillus thuringiensis*) durant la période de fructification. Cependant, la lutte chimique est

peu efficace une fois les larves cachées dans les fruits, de plus les manifestations de phénomènes de résistance aux pesticides reste très importantes chez les bioagresseurs.

Parallèlement à ces méthodes, des méthodes de lutte biologiques ont été testées dans d'autres régions avec *Trichogramma sp*, (parasitoïde d'oeufs), *Steinernema sp* (nématodes entomopathogènes). Bien que les résultats soient concluants, les méthodes sont coûteuses car nécessitant un très grand nombre d'individus (Cabanillas et Raulston, 1996 ; Suh et al, 2000).

De nombreux prédateurs de la noctuelle ont été répertoriés à ce jour :

- dont la coccinelle *Coleomegilla maculata*(Coccinelle)
- et la punaise *Orius insidiosus*

Certains oiseaux peuvent parfois se nourrir des chenilles de la noctuelle, mais pas en proportion significative.

Des chauves-souris insectivores sont aussi prédatrices des adultes de la noctuelle.

b) Bemisia tabaci (Gennadius, 1889)

Phylum : Arthropoda, **Classe** : Insecta, **Ordre** : Hemiptera

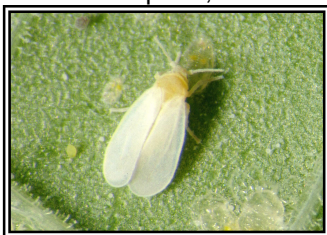


Figure 6 Adulte *Bemisia tabaci* (Ph. Ryckewert/CIRAD)

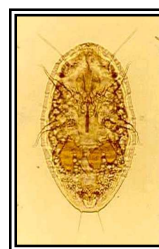


Figure 7 Larve mobile (ensam.inra.fr)

Bemisia tabaci, insecte piqueur-suceur, est présent dans les zones tropicales et subtropicales mais peut se maintenir en zones tempérées ou froides, dans des microcosmes maintenus au chaud (Brown, Bird, 1992). Les adultes sont de tous petits insectes (1 à 1,5 mm) qui se trouvent généralement sur la face inférieure des feuilles et qui ont un vol peu actif, se laissant emporter par le vent. La dernière mue est à tort appelée « mue nymphale », car les insectes de cet ordre (hémiptère) ne produisent pas de nymphe (ou pupe) à proprement parler (Ellsworth, Martinez-Carrillo, 2001). Les principales caractéristiques contribuant au statut de ravageur majeur de l'aleurode sont:

- Espèce invasive d'hémiptère très polyphage, pouvant se nourrir de plus de 900 plantes et transmettre 111 virus (Ellsworth, Martinez-Carrillo, 2001). Ce ravageur

peut s'attaquer en particulier à des cultures maraîchères comme la tomate. Son contrôle est difficile car il colonise aussi certains adventices hors de planches de cultures.

- Haute fécondité, une femelle peut pondre jusqu'à 300 oeufs, généralement sous la surface de la feuille. La durée du cycle du développement complet de *Bemisia tabaci* à 16°C est d'environ 49 jours, alors qu'à 26°C ce la ne lui prend que 21 jours.

En prélevant la sève, les aleurodes provoquent le vieillissement et la nécrose prématurée des feuilles. Les aleurodes, secrètent du miellat, qui favorise le développement de la fumagine, champignon provoquant le noircissement des feuilles et entraînant donc la réduction de la capacité photosynthétique de la plante hôte (Schuster et al. 1996). De plus, parmi les virus que peut transmettre l'aleurode, le Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV ou maladie des feuilles jaunes en cuillères) est des plus dangereux pour les cultures et limite en particulier les cultures de tomate dans le monde (Zeidan et al. 1998). *Bemisia tabaci*, en est porteuse tout au long de sa vie et peut le transmettre à sa descendance.

Les feuilles, formées peu après l'infection, sont chlorotiques et déformées et la bordure des feuilles est enroulée vers le haut (Figure 8). Le Potato Yellow Mosaic Virus (PYMV), famille des begomovirus transmis par *Bemisia tabaci*, a été détecté pour la première fois sur l'île en 1992.



Figure 8 Plants de tomate infestés par le TYLCV P.Ryckeweart

Ces maladies perturbent fortement la croissance des plantes. Les plants de tomate infectés à un stade précoce sont fortement atrophiés et la production de fruits commercialisables chutes aussi. En cours de culture, aucune mesure n'est

réellement efficace, des applications répétées d'insecticides anti-aleurodes limitent médiocrement l'extension de la maladie.

Contre les aleurodes, les producteurs alternent généralement des substances adulticides telles que la pymétozine (qui provoque l'arrêt de l'alimentation et la mort) avec des substances de type larvicides comme la deltaméthrine ou l'acétamipride perturbateur de mue. Et là aussi les phénomènes de résistance sont devenus sérieusement handicapants.

En Martinique, La FREDON préconise des mesures prophylactiques telles que : préférer des plants provenant de pépinières (issus de semences certifiées) ; décaler la date de semis par rapport à la période d'activité des ravageurs ; planter une nouvelle parcelle au vent d'une parcelle contaminée ; éviter l'enherbement de la parcelle ; brûler les résidus de récoltes. Cependant les résultats demeurent insatisfaisants.

La lutte biologique est aussi utilisée avec succès contre *Bemisia tabaci*, en serre avec des lâchers de parasitoïdes (*Encarsia sp.*), de chrysopes (*Chrysoperla sp.*), de punaises prédatrices, *Macrolophus caliginosus* ou de coccinelles (*Delphastus catalinae*) (Gerling et al. 2001). Des champignons entomopathogènes, *Verticillium lecanii*, peuvent être aussi utilisés sous serre. En plein champ, les résultats sont plus mitigés car bien qu'on observe une baisse significative des populations, les dégâts dans les cultures restent importants.

c) *Ralstonia solanacearum*

Le flétrissement bactérien est une maladie due à la bactérie tellurique *Ralstonia solanacearum*, qui constitue un problème phytosanitaire majeur en Martinique. Deux populations de *R. solanacearum* coexistent en Martinique: une population « historique » connue depuis les années 1960 (Digat et Escudie. 1967), inféodée aux Solanacées et une population « émergente », mise en évidence à partir de 1998, avec une plus large gamme d'hôtes (Cucurbitacées, Anthurium et Solanacées) (Wicker et al. 2002). Cette population émergente est avérée plus agressive sur tomate que la population historique. Cette maladie provoque le flétrissement progressif du plant infecté puis sa mort en moins de 15 jours (Figure 9). Il n'existe à ce jour aucune méthode de lutte contre le flétrissement bactérien.



Figure 9 Plants de tomates infestés par *Ralstonia solanacearum*

3. La gestion agroécologique des bioagresseurs

3.1 L'agroécologie : le concept

Selon Dalgaard et al (2003), l'agroécologie est la science qui regroupe toutes disciplines ayant pour objet l'étude des relations entre les organismes vivants présents dans les cultures ; l'étude des interactions entre les plantes, les animaux, les hommes et leur environnement au sein de systèmes agricoles.

Audemard (2007) définit l'agroécologie en tant que discipline intégrant les connaissances de l'agronomie, l'écologie, la sociologie et l'économie en les appliquant et en les adaptant aux conditions locales et environnementales. Ce qui en ferait un système de gestion s'appuyant sur une agriculture multifonctionnelle et durable, qui valorise les agroécosystèmes, optimise la production et minimise les apports en intrants.

Les agroécosystèmes diffèrent des systèmes naturels dans leur diversité, leur structure et leur gestion établie à l'échelle du paysage (non plus de la culture).

Ces systèmes sont gérés avec des apports technologiques minimum (exemple : systèmes agroforestiers, polyculture traditionnelle), profitent du travail normalement effectué par des processus écologiques associés à une très haute biodiversité à l'inverse des systèmes fortement simplifiés, conduits en apports importants et

dérangés du point de vue écologique (monocultures intensives) (Altieri et Nicholls, 2004).

Selon Altieri et Nicholls (2005) les 5 grands principes de l'agroécologie sont :

1. le recyclage de la biomasse et l'optimisation de la disponibilité de nutriments
2. la conservation des conditions de sol favorables à la production végétale, par la gestion de la matière organique et la stimulation de l'activité biologique
3. la minimisation des pertes de ressources par la gestion du microclimat, l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments
4. la diversification génétique (intra- ou interspécifique) des parcelles cultivées dans le temps et dans l'espace
5. la valorisation des interactions biologiques et des synergies entre les composantes de l'agrobiodiversité de façon à promouvoir les processus et les services écologiques

Dans le cadre du programme d'évaluation des écosystèmes pour le millénaire (EM) (ou MA : Millenium Ecosystems Assessment), il a été défini trois catégories de services écologiques fournis par la biodiversité des agroécosystèmes :

1. les services intrants, qui englobent tous les services concernant l'utilisation de la ressource naturelle, la régulation des interactions interspécifiques et le maintien des caractéristiques physico-chimiques du milieu.
2. les services de productions liés aux revenus agricoles directs.
3. les services produits hors revenus agricoles (contrôle des impacts environnementaux et socio-économiques).

Tous les agroécosystèmes sont dynamiques et soumis à différents niveaux de gestion car les dispositions des cultures changent continuellement, dans le temps et l'espace, face à des facteurs biologiques, culturels, socio-économiques et exogènes. Ce concept assez récent d'agriculture maximise la mise en place de stratégies de développement sur le long terme avec la réhabilitation des savoir-faire traditionnels conformes à une gestion écologique et économique des milieux, plus d'échanges de savoir entre scientifiques et producteurs et une meilleure implication de la population locale (en garantissant l'emploi de la main-d'œuvre agricole).

Parmi ces méthodes alternatives, l'utilisation de la diversification spécifique végétale par la gestion des habitats semble aussi donner de bons résultats. Car avec des

ravageurs présentant d'importants niveaux de polyphagie, une augmentation de la richesse spécifique du système suffirait à perturber leurs comportements de colonisation.

3.2L'agroécologie appliquée à la protection des cultures

La protection des cultures est encore de nos jours principalement agrochimique et doit connaître une évolution, sous peine d'aggraver un bilan économique et écologique déjà préoccupant.

Les alternatives proposées ont connu divers succès dès la fin des années 1960. La solution transgénique, adoptée depuis quelques années en cultures intensives, présente un risque accru de manifestation de phénomènes de résistance, même si elle permet une réduction sensible des traitements chimiques, sous réserve de la maîtrise d'éventuelles pullulations de bioagresseurs ayant eu jusque-là une importance secondaire. L'attention a ensuite été portée sur la dimension durable de la gestion des populations de nuisibles, dans le cadre la protection intégrée (IPM), en privilégiant les mesures prophylactiques, la lutte biologique souvent inondative (avec l'introduction en masse de prédateurs ou d'agents entomopathogènes dans le milieu) et en dernier recours l'utilisation de pesticides.

Le concept de gestion agroécologique pousse le raisonnement plus loin. De ce fait, la priorité est accordée au fonctionnement équilibré et durable des agroécosystèmes à une échelle plus large que celle du seul agrosystème. La protection des cultures passe donc par une valorisation de la biodiversité végétale (et par la même animale) et par la gestion des habitats. Plusieurs mécanismes écologiques sont alors mis en jeu dans le cadre de processus de diversification végétale :

- L'effet "Top-Down", lorsque des ravageurs de niveaux trophiques secondaires (herbivores) sont supprimés par des ennemis naturels (donc d'un niveau trophique supérieur). Cette régulation est favorisée par la préservation dans l'agrosystème de parasitoïdes et/ou prédateurs de l'espèce ravageuse grâce à des actions de lutte biologique dite de "conservation".
- L'effet "Bottom-Up", lorsque les populations du ravageur est contrôlé par les ressources. Cette régulation est favorisée par les stratégies de manipulation d'habitat (composant le premier niveau trophique).

- La dilution de la ressource, c'est-à-dire la répartition et la densité des plantes hôtes dans l'espace, favorisée par la diversité spécifique d'un système, entraîne la perturbation de la recherche de sites d'alimentation et de pontes des phytophages, ainsi qu'un maintien de niveaux faibles de leurs populations par la pression exercée par des populations de prédateurs plus diversifiés. Ces mécanismes sont présentés par R.B.Root (1973), comme "l'hypothèse de concentration/dilution des ressources" (Resource Concentration Hypothesis) et "l'hypothèse des ennemis" (Enemies Hypothesis).

3.3 Les plantes de services, un outil de biodiversité.

Le concept de plantes de service vise à adapter les caractéristiques d'écosystèmes naturels aux agrosystèmes, afin que ces derniers puissent bénéficier de propriétés telles qu'une résilience du système plus importante, une meilleure efficacité énergétique et surtout d'une réduction de l'impact des populations de bioagresseurs. Ces espèces introduites dans le but précis d'une diversification dite "fonctionnelle", ont donc des actions autant physiques, que chimiques ou biologiques sur un agrosystème. Les espèces végétales sont utilisées en plantes de services en fonction de leurs différents traits fonctionnels : architecture, phénologie de l'espèce, et physiologie, pour rendre des services écologiques, par exemple la régulation des bioagresseurs. Les interactions entre culture et plantes de services étant donc d'ordre spatiotemporel, il est nécessaire d'avoir une parfaite connaissance des interactions interspécifiques et avec le milieu, ainsi que des écologies des espèces utilisées.

Il existe plusieurs types de systèmes faisant appel aux plantes de services :

-Le semis sous couvert végétal, (où la semence est directement mise en terre sans travail du sol couvert en permanence), peut s'effectuer grâce à l'action protectrice des plantes de couverture. Ces dernières (souvent des herbacées pérennes) sont aussi associées aux cultures principales simplement pour la protection du sol et le contrôle des adventices (exemple de la banane associée au soja).

-L'agroforesterie est un système dynamique de gestion de la ressource naturelle en associant des arbres aux cultures annuelles, créant ainsi des microclimats et des

conditions physico-chimiques favorables à ces dernières (exemple de plantation de caféier avec des arbres d'ombrages tels que *Erythrina* sp).

- les systèmes utilisant la stratégie de déviation stimulo-préventive ou effet "PUSH-PULL" (Pyke et al, 1987, Miller et Cowles, 1990). Une interculture répulsive, détourne le ravageur de la culture principale et combiné avec une culture piège attirant le ravageur (Shelton, Badenes-Perez, 2006). (Exemple d'herbe à éléphants et d'herbes du soudan utilisées dans les cultures de maïs et de sorgho contre la pyrale du maïs)

- les systèmes avec des barrières végétales (exemple de système mixte arachide/agrumes avec en bordures *Moringa oleifera* pour son effet coupe-vent et le microclimat engendré).

- les systèmes avec des plantes compagnes, favorisant la croissance et les populations d'auxiliaires (exemple les tournesols, *Helianthus* Sp., plantés en association avec les cultures maraîchères).

- Les systèmes de plantes pièges et qui seront développés ci-dessous

3.4 Les plantes pièges

Une culture piège est une espèce cultivée en association avec la culture principale et qui est plus attractive pour le ravageur en tant que ressource alimentaire ou un site de ponte afin de détourner celui-ci de la culture principale (Hokkanen, 1991).

Ainsi l'arrivée du ravageur sur la culture principale est empêchée et la population de ravageurs concentrée sur la plante piège pourra être détruite. Une bonne résistance aux maladies bactériennes et viroses est aussi importante

a) Fonctionnement d'une culture piège

Le fonctionnement de la culture piège se fait selon deux principes : (i) la concentration de population de ravageurs sur la culture piège, où ces derniers pourront éventuellement être détruits ; (ii) la préservation de la micro et mésofaune utile à la culture.

b)Caractéristiques d'une culture piège

Une plante piège doit être très attractive en tant que ressource alimentaire ou site de ponte en fonction du stade de l'insecte ciblé. Il est donc important que dans tous les types de systèmes de culture piège les phénologies des espèces associées soient systématiquement accordées. Il faut éviter que la plante piège ne devienne un puits d'infestation.

Certaines espèces présentent un effet "Dead-End" c'est-à-dire qu'elle sont évidemment très attractive pour l'insecte à un stade précis de leurs développement (ponte des femelles) alors que la population qui en découle ne lui survie pas ou très peu (soit par manque d'éléments nutritifs ou par synthèse de substances toxiques pour l'insecte).

Ces impasses écologiques sont souvent placées en bordure des cultures principales afin de réduire les dégâts des parasites (Shelton, Badenes-Perez, 2006).

Des variétés génétiquement modifiées peuvent aussi être utilisées en culture piège. Par exemple une variété modifiée pour exprimer une résistance à un groupe de ravageurs particuliers (Maïs Bt contre la pyrale du maïs *Ostrinia sp.* (Pilcher, 2003)).

Le concept peut aussi être assisté par un contrôle biologique ou semiochimique, c'est-à-dire par l'introduction d'auxiliaire issus d'élevage (prédateur ou parasitoïde systématique du ravageur présent) ou encore grâce à l'utilisation d'extraits de végétaux souvent toxiques pour la population de bioagresseurs.

En concentrant ainsi les ravageurs, il est possible de traiter uniquement la culture piège afin de réduire la population d'insectes ce qui réduit les quantités de pesticides utilisés.

c)Limites du concept de culture piège

Une culture piège reste relativement spécifique alors que les cultures sont souvent attaquées par plusieurs espèces d'insectes.

Les modalités logistiques liées à la culture piège telles que des dates de plantation différentes et les exigences nutritives des deux types de cultures, limitent aussi probablement l'utilisation de ces pratiques. Car le plus souvent, la culture piège doit être en place avant l'émergence ou la transplantation de la culture principale.

La culture piège nécessite donc d'importantes connaissances sur l'écologie et la phénologie des espèces mise en cause pour maximiser leur efficacité ainsi que sur les traits de vie des insectes ciblées; connaissances pas toujours à la portée de tous. Et enfin, les très petites parcelles conviennent mal à l'utilisation de cultures pièges car les effets d'un système de piégeage en bordure provoquent des microclimats, ces derniers n'étant pas toujours favorables à la culture principale.

3.5 Le maïs au secours de la tomate ?

***Zea mays*, (L., 1753)**

Classe Famille : Poaceae, **Sous-famille :** Panicoideae, **Tribu :** Maydeae.



Le maïs est une plante herbacée annuelle, monoïque de grande taille (jusqu'à 2 à 3 m de haut pour les variétés cultivées) ; largement cultivée comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère. Les plantes possèdent des épillets mâles en grappes spiciformes réunis sur une panicule terminale étalée et des inflorescences femelles insérées à l'aisselle des feuilles, dans lesquelles les épillets sont alignés en rangées (8 à 16) d'environ 30 épillets chacune, et sont portés sur un rachis presque ligneux et épaissi. L'ensemble de la structure (épi) est enveloppé dans de nombreuses bractées foliacées développées (spathes), et une masse de longs stigmates s'échappent au sommet des spathes en une touffe de filaments (soies) (Hitchcock et Chase, 1971).

Figure 10 Plants de maïs avec fleurs mâles et soies fraîches

La pollinisation s'effectue par le vent, bien que l'auto- pollinisation et la pollinisation croisée soient possibles.

En général la viabilité du pollen est de 10 à 30 minutes, mais elle peut être plus longue lorsque les conditions sont favorables (Coe *et al*, 1988).

Bien que les populations indigènes du continent américain, cultivent le maïs depuis des milliers d'années, il semblerait que le téosinte (*Z. mexicana*) soit l'ancêtre du maïs cultivé et que l'introduction de ce dernier dans l'ancien monde remonte au XVI^e siècle.

Les cultures de maïs (en particulier le maïs doux) constituent l'une des plantes hôtes primaires d'*Helicoverpa zea* pour la ponte de leurs œufs (Fitt, 1989). Les soies du maïs sont réputées pour émettre des complexes de substances volatiles qui auraient pour effet d'attirer certains insectes en particulier. Dans le cas d'*Helicoverpa zea*, un complexe de Phenylacetaldehyde et de Butanol augmenterait l'attractivité du maïs (Cantelo et Jacobson, 1998), et l'éthylène émis induit la reproduction chez les femelles d'*Helicoverpa zea* (Raina et al, 1992). Elles déposent leurs oeufs sur les soies fraîches du maïs, et les larves passent de la soie à l'intérieur l'épi, se nourrissant du tissu de la soie en chemin (Rector, et al. 2002).

C'est donc pour cela que le maïs a été choisi comme plante piège candidate afin de contrôler la noctuelle de la tomate. De plus des études précédentes, dans d'autres régions, ont donné des résultats satisfaisants en diminuant les dégâts de *Helicoverpa sp* sur les cultures de tabac, de soja et de haricots verts (Abate, 1988 ; Javaid et al. 2005).

Et en bonne plante piège, il a aussi été montré que sur des cultures de maïs, le taux de survie des larves était faible et que les adultes émergents étaient moins féconds (Jallow et Zalucki, 2003).

Les substances émises par le maïs sont aussi attractives pour les prédateurs et parasites de la noctuelle, en particulier la coccinelle *Coleomegilla maculata*, son prédateur dominant dans les cultures de maïs. (Ruther et Kleier, 2005).

II MATERIEL ET METHODES

1. Site d'expérimentation

L'essai est réalisé, en plein champ, sur la station expérimentale du CIRAD de Rivière Lézarde, située sur la commune de St Joseph. La durée de l'essai est d'environ 10 semaines.

2. Matériel végétal

Variétés utilisées pour l'essai :

-Variété de tomate HEATMASTER, présente un meilleur rendement sous climat tropical avec de gros fruits.



Figure 11 Fruits de HEATMASTER

-Variété de maïs doux JAVA, cycle dit tardif (80 jours, donc cycle plus ou moins long), rustique avec des plants très vigoureux de 1,80m à 2m. Les épis très sucrés de 20 à 25 cm sont bien recouverts et bien remplis avec 14 à 15 rangs uniformément jaune d'or. Très bonne adaptation aux climats tropicaux et subtropicaux.

- Variété de maïs doux SUGAR, avec des propriétés similaires, mais un cycle plus court que celui de la JAVA.

3. Dispositif expérimental (Figure 12)

La parcelle de tomate, plantée le 23/02/10, a une superficie de la parcelle de tomate de 1200m², avec 25 lignes de tomates plantées. La bordure de maïs a eu 3 semis successifs, les 26/01/10, 09/02/10 et 25/02/10 soient, respectivement, 28 et 14 jours avant la plantation de tomate et 2 jours après la plantation de tomate. La superficie totale de la bordure de maïs est de 120m², soit 10% de la superficie de la parcelle de tomate. L'élément dans ce dispositif qui pourrait constituer un biais important est le vent, et la direction par laquelle il pourrait amener les aleurodes. Par conséquent, la bordure a donc été placée au vent de la parcelle de tomate.

Les plants de tomate sont observés à différentes distances, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40 et 50m. Un échantillonnage régulier fut choisi afin d'obtenir 12 plants par ligne de distance (à raison d'un plant sur deux). Ces plants sont conservés durant toute la période de l'essai, pour les différentes observations effectuées sur le terrain.

Pour évaluer la hauteur et le stade phénologique de la bordure, 22 plants de maïs sont observés par semis et par variété. Entre 10 et 15 épis de maïs (hors plants

observés) sont prélevés chaque semaine, selon la disponibilité de chaque semis en épis, pour observer les chenilles présentes. Afin de s'assurer de la présence d'aleurodes dans le milieu, 2 panneaux jaunes ont été placés en périphérie du dispositif expérimental, et sont relevés chaque semaine.

L'évaluation de la population d'adulte d'aleurodes à l'aide des panneaux jaunes sur la parcelle de tomate à été écartée, car ce dispositif conçu pour être attractif risquerait d'introduire un biais supplémentaire au dispositif d'expérimentation, en attirant sur la parcelle plus d'aleurodes qu'en conditions normales d'exploitation.

Un piège à phéromone de type Heliothis (annexe 4) est placé près de la parcelle pour suivre la population de noctuelles. Le piège n'attirant que les mâles de *H. zea*, sa position n'a aucun impact sur la ponte des femelles.

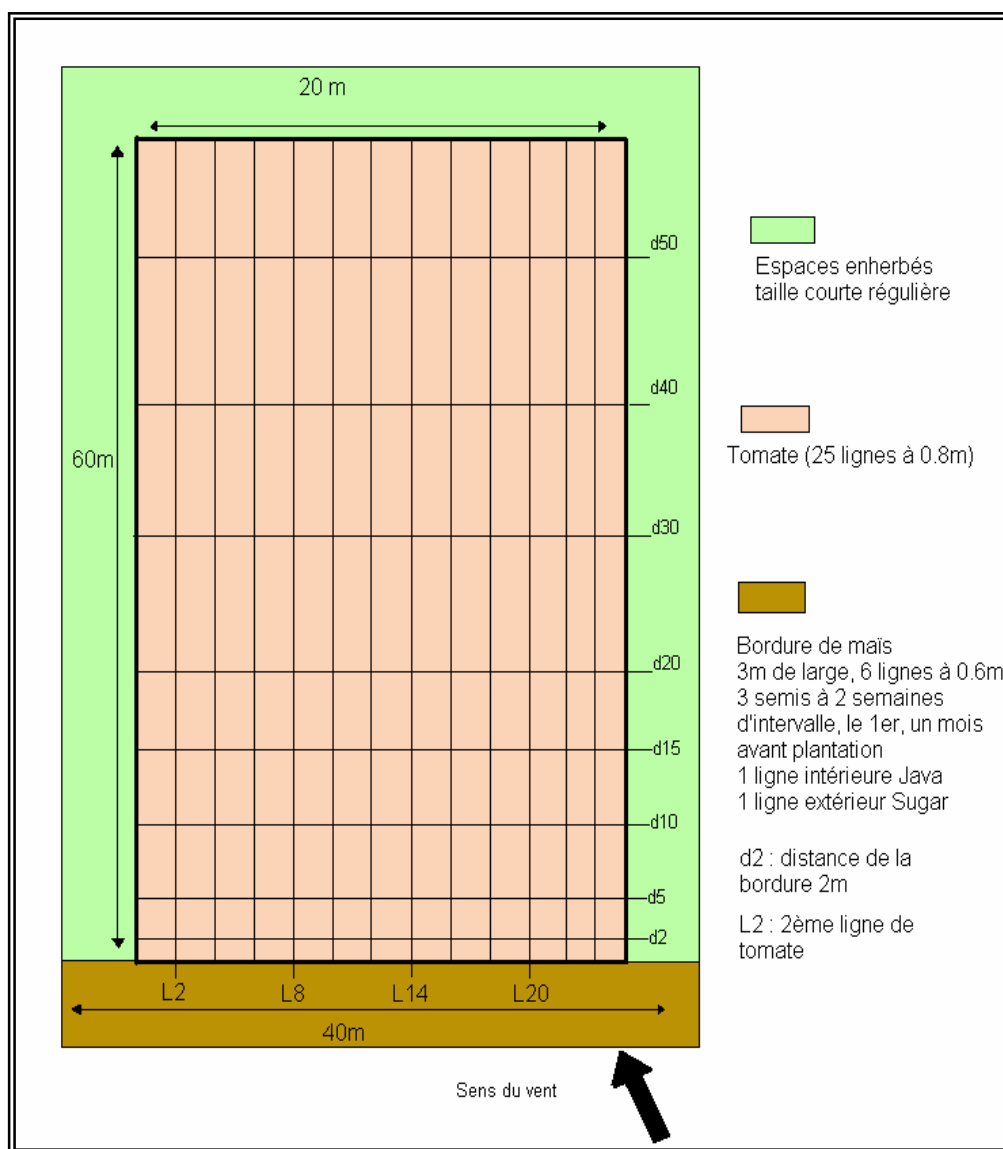


Figure 12 Schéma du dispositif expérimental

4. Observations

Evaluation du stade de développement du maïs par rapport à celui de la tomate.

Le stade de développement du maïs est comparé à celui de la tomate avec les observations des différents stades phénologiques des deux espèces.

Une notation des différents stades phénologiques est réalisée sur les individus étiquetés de la bordure de maïs selon des niveaux de développement suivants :

- 0. Levée des grains
- 1. Apparition des feuilles
- 2. Sortie de l'inflorescence mâle
- 3. Inflorescence mâle fonctionnelle (étamines exposées au vent)
- 4. Inflorescence femelle (apparition des soies)
- 5. Dessèchement des premières soies (les autres sont fraîches)
- 6. Fin de floraison (dessèchement de toutes les soies)
- 7. Développement des grains (stade laiteux)
- 8. Maturation des grains
- 9. Sénescence

Pour chacun des 96 plants de tomate le stade phénologique est noté à l'aide de 5 niveaux de développement :

- 1 Stade végétatif
- 2 Stade inflorescence (apparition du premier bouton de fleur)
- 3 Stade floraison (apparition de la première fleur)
- 4 Stade nouaison (apparition du premier fruit vert)
- 5 Stade récolte (apparition du premier fruit rouge)

Colonisation de la bordure de maïs par *Helicoverpa zea*

Afin d'évaluer la population de chenilles dans la bordure de maïs, les épis de 15 plants, avec des soies encore fraîches (hors plants marqués), sont prélevés chaque semaine. Les épis sont conservés au réfrigérateur avant observations en laboratoire, puis les chenilles et les auxiliaires sont dénombrés dans les soies et dans les épis.

Les chenilles sont généralement classées en 6 stades :

- Stade 1 (mesurant jusqu'à 1.5mm et âgée d'environ 3 jours)
- Stade 2 (jusqu'à 3.4mm en 5 jours)
- Stade 3 (jusqu'à 7mm en 7 jours)
- Stade 4 (jusqu'à 11.4mm en 9 jours)
- Stade 5 (jusqu'à 17.9mm en 11 jours)
- Stade 6 (jusqu'à 24.8mm en 13 jours)

Autres insectes présents dans la bordure de maïs

Dans les épis prélevés chaque semaine, divers insectes sont également identifiés et dénombrés. En complément, des observations de la faune de la bordure de maïs sont réalisées *in-situ*.

Présence d'*Helicoverpa zea* sur la tomate en fonction de la distance avec la bordure de maïs

On dénombre les œufs présents dans les calices de l'inflorescence et au verso des premières feuilles après l'inflorescence.

Pour chacun des plants observés, les fruits présentant des dégâts sont notés. Les fruits retenus sont collectés pour être observés en laboratoire afin d'évaluer le nombre de chenilles présentes, ainsi que leurs stades de développement établi à vue.

Des œufs parasités sont placés en dans des boites de pétrie avec la foliole sur laquelle ils ont été prélevés afin de pouvoir observer une éventuelle éclosion nécessaire à l'identification du parasitoïde.

Effet barrière de la bordure de maïs contre *Bemisia tabaci*

Des mesures de croissances sont effectuées sur 44 plants de maïs par semis et ce chaque semaine.



Les plants à mesurer sont étiquetés et marqués d'une bague rouge sur une des feuilles (afin d'éviter toute confusion).

Les mesures de croissance sur le plants de maïs sont effectuées de la base du plants jusqu'au niveau de la dernière feuille engainée.

Figure 13 Dessin d'un plant de maïs (<http://www.rosier-be.com/fr/produits-services/fertilisants/par-culture/maïs>)

Population de *Bemisia tabaci* sur la parcelle de tomate

Sur chaque plant de tomates étiqueté, les aleurodes présents sont dénombrés, *in situ*.

5. Analyses statistiques

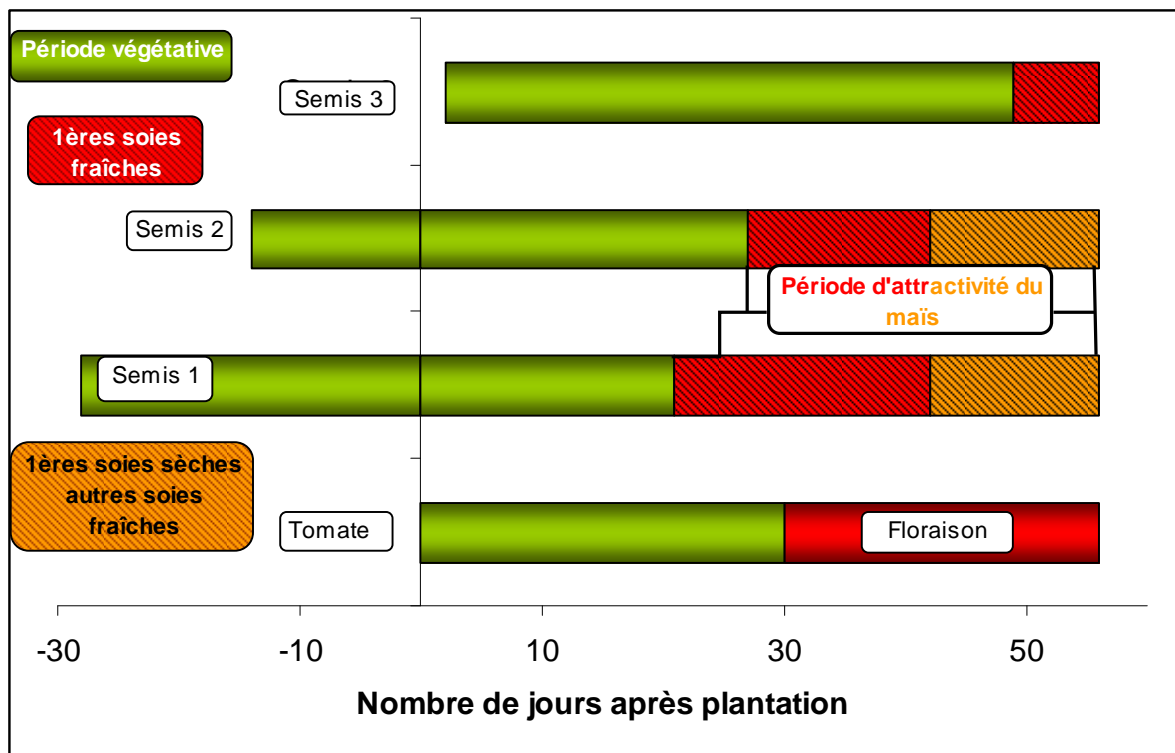
Les données de comptage ont nécessitées une transformation logarithmique « $\ln(x+1)$ » préalable avant analyse, afin de diminuer l'importante variabilité de ces dernières.

Des analyses de régression ainsi que des test de corrélation (test de Pearson) ont ensuite pu être réalisés.

L'analyse statistique des données est réalisée avec le logiciel de traitement XLSTAT 2009 version 6.02.

III RESULTATS

1. Evaluation du développement du maïs en comparaison à celui de la tomate

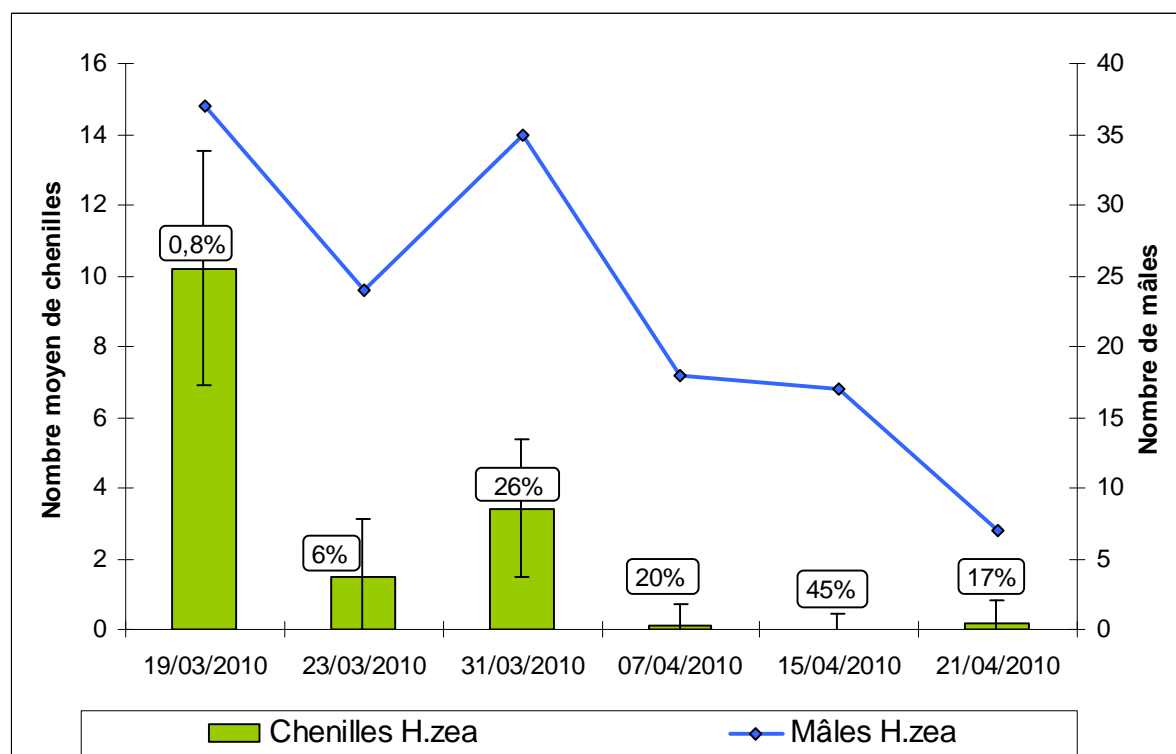


Graphique 1, Comparaison des développements phénologiques du maïs et de la tomate.

Le Graphe 1, montre que la période d'attractivité de la bordure de maïs couvre la période de floraison de la tomate, cependant on note aussi une différence de comportement entre les différents semis.

Le semis 2 est le semis de maïs à avoir bénéficié d'un développement normal, en conditions climatiques favorables. Le semis 1 a souffert de stress hydrique dû à la période de sécheresse sévère qui a suivi, durant les 48 jours après le semis la pluviométrie hebdomadaire était inférieure à 6 mm et bien qu'irriguée la quantité d'eau n'était pas suffisante. Les jeunes pousses du semis 3 ont été piétinées à deux reprises par des bovidés.

2. Colonisation de la bordure de maïs par *Helicoverpa zea*



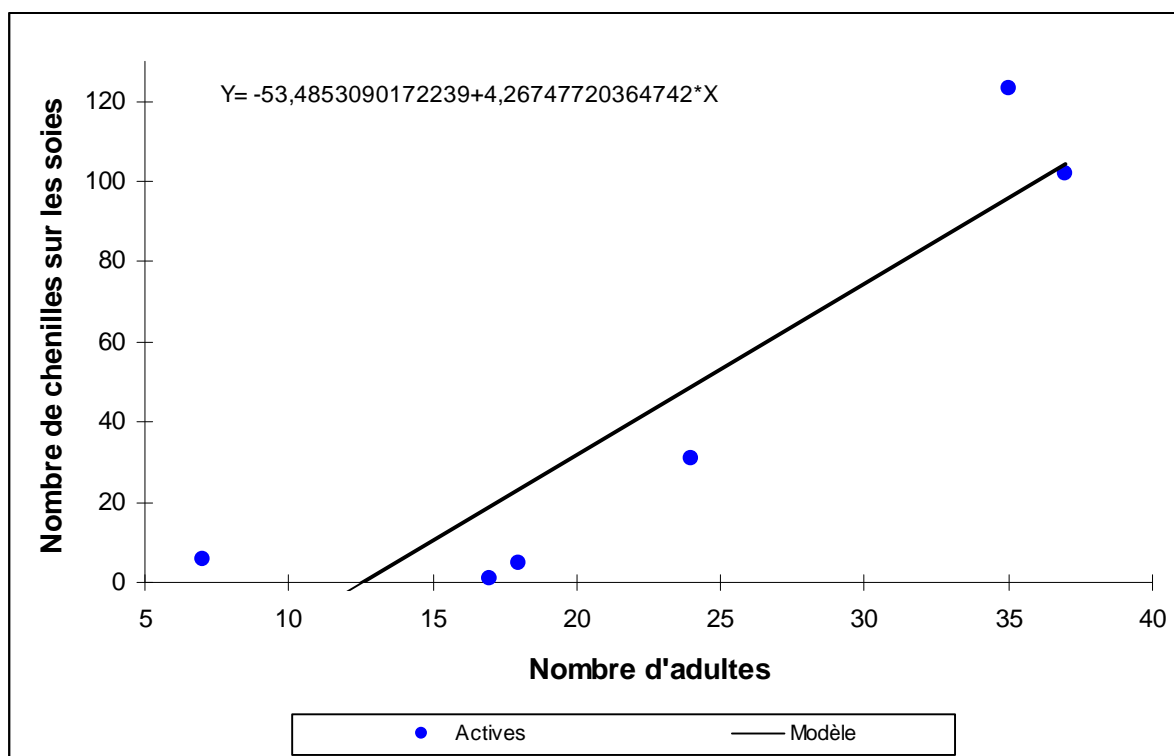
Graphique 2 : Nombre moyen (\pm SE) de chenilles de *H. zea* collectées sur les soies et nombre total de mâles *H. zea* piégés par semaine.

Le graphique 2, représente la dynamique de la population des jeunes chenilles d'*Helicoverpa zea* dans la bordure de maïs, ainsi que celle des adultes mâles collectés dans les pièges à phéromone chaque semaine. Le pourcentage présenté sur ce graphique représente la proportion de plants avec au moins une soie fraîche.

Le graphique montre le nombre moyen de chenilles collectées sur les soies par épi varie en fonction du pourcentage de soies fraîches disponible. Le test de corrélation de Pearson, confirme la corrélation entre le nombre moyen de chenilles collectées sur les soies et le pourcentage de plants ayant des soies fraîches dans la bordure ($R^2 = 0.100$; $p < 0.01\%$) (Tableau 1 annexe 1). On remarque, particulièrement, qu'entre le 19 mars et le 31 mars, où le nombre de mâles collectés est identique, le nombre moyen de chenilles collectées sur les soies est 3 fois plus important lorsque le pourcentage de soies fraîches est inférieur à 1% que lorsque le pourcentage de soies fraîches est de 26%.

A l'inverse, le nombre de chenilles suit les fluctuations de la population d'adultes mâles. La chute à partir du 07/04/10 du nombre d'adultes mâles piégés par semaine s'explique par la brutale augmentation de la pluviométrie moyenne hebdomadaire

(30.46mm la semaine suivante) alors qu'au cours des semaines précédentes la pluviométrie moyenne hebdomadaire varie entre 0.06mm et 13.74mm.



Graphique 3, Nombre total de chenilles collectées sur les soies en fonction du nombre d'adultes mâles piégés par semaine.

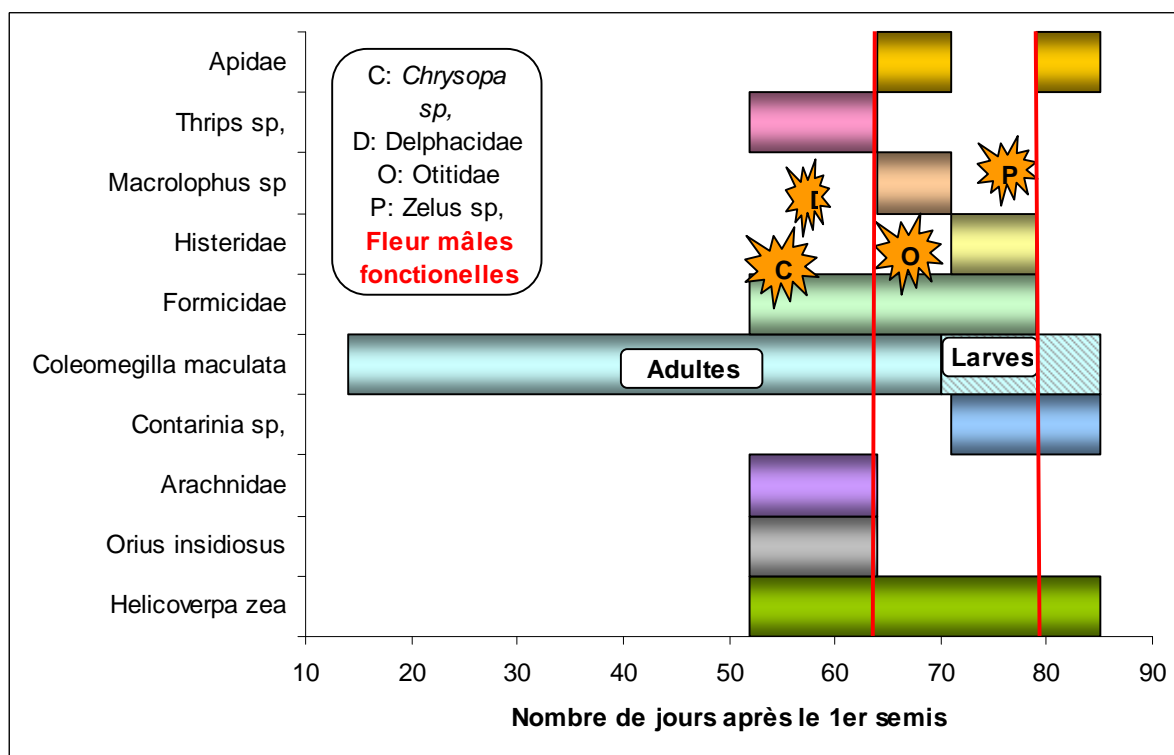
Le graphique 3, montre que le nombre de chenilles collectées sur les soies augmente proportionnellement au nombre d'adultes mâles piégés chaque semaine. Le test de corrélation de Pearson, confirme la corrélation entre ces deux variables ($R^2=0.822$; $p<1.31\%$) (Tableau 2 annexe 1) et le modèle linéaire « (nombre chenilles collectées) = -53.49 x nombre de mâles piégés + 4.28 » est validée par l'analyse de variance ($F= 18.42$; $p<5\%$).

Tableau 3, Comparaison des pentes de droites théoriques à celle obtenue lors des observations

Analyse de la variance :					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	11983,076	11983,076	18,420	0,013
Erreur	4	2602,257	650,564		
Total corrigé	5	14585,333			

La probabilité de l'indice de Fisher ($Pr > F$) étant inférieure à 0.013, conclure que la variable « nombre d'adulte mâles » apporte une quantité d'information significative au modèle ne comporte que 1.3% de risque d'erreur et permet d'affirmer que le modèle est significatif.

3. Autres insectes dans la bordure de maïs

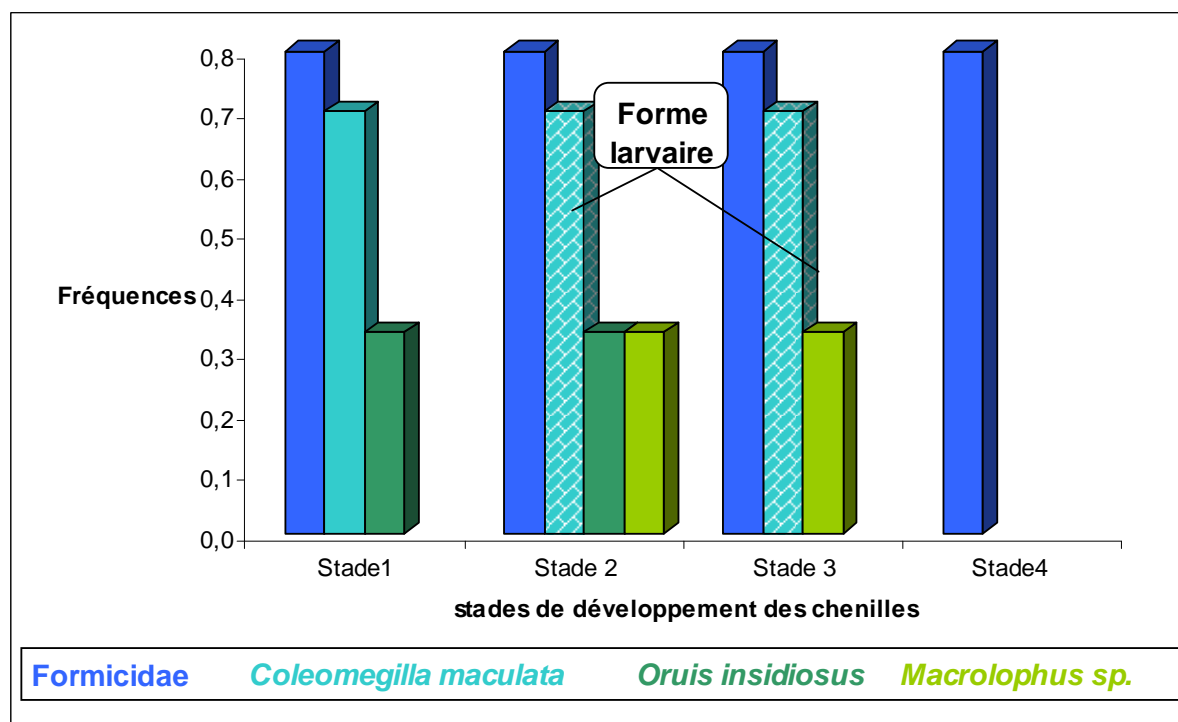


Graphique 4, Colonisation de la bordure de maïs par les populations d'arthropodes. Les points présentés de façon ponctuelle (en orange) représentent des observations ponctuelles de terrain, les autres familles d'insectes ayant été observées en salle optique avec les épis de maïs prélevés toutes les semaines.

Le graphique 4, montre les différentes populations d'arthropodes qui se sont installées à partir des premières infestations de chenilles d'*Helicoverpa zea*, qui ont commencé 52 jours après le 1^{er} semis, sauf les coccinelles (*Colemequilla maculata*) qui sont arrivées dès le 14^{ème} jour après semis. On observe que les abeilles (Apidae) sont présentes exclusivement lors de la floraison mâle du maïs, lorsque les étamines sont exposées au vent. A l'apparition abeilles, d'autres insectes disparaissent, tels que les thrips, les araignées et les punaises *Orius insidiosus*. Le cas des Coccinelles est particulier, car cette population présente dès les premiers stades végétatifs du maïs, est par la suite majoritairement représentée par ses

larves. De nombreuses familles de diptère étaient présentes dans la bordure de maïs, mais n'ont pu faire l'objet d'observations précises.

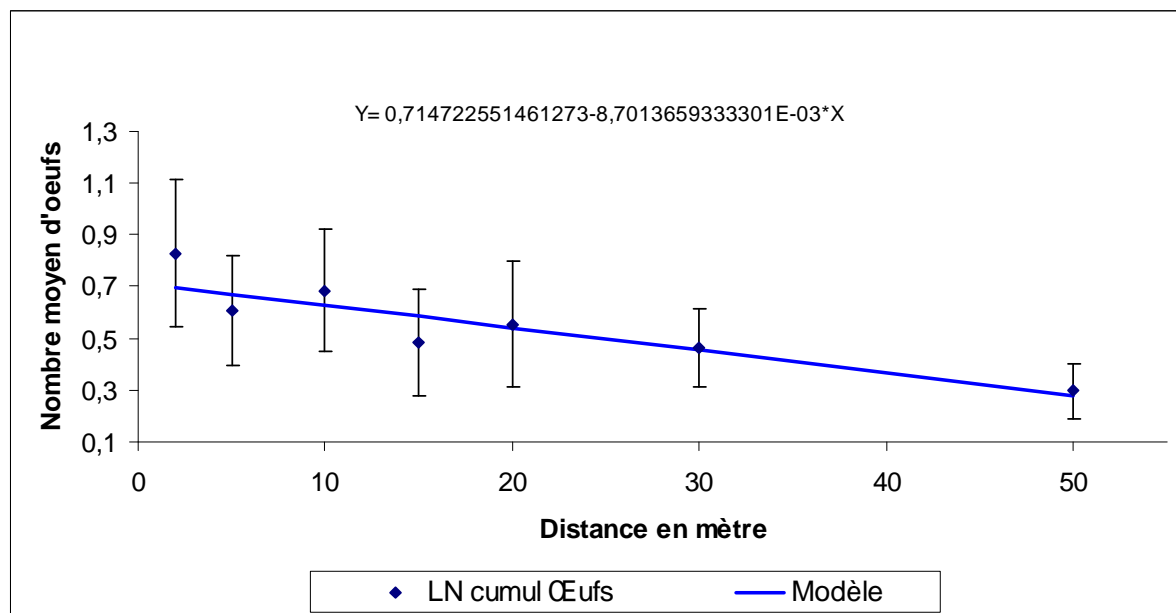
Afin de tenter de mieux définir certains phénomènes de succession de peuplements, les familles de prédateurs d'*Helicoverpa zea* sont présentées en comparaison du stade de développement des chenilles dans la bordure de maïs.



Graphique 5, Fréquence des populations de prédateurs en fonction du stade de développement des chenilles dans la bordure de maïs, les stades 1 et 2 regroupent les juvéniles de très petites tailles respectivement (jusqu'à 1.5 mm et entre 1.5mm et 3.4mm), le stade 3 (3.4 à 7 mm) et le stade 4 (7 à 11.4 mm).

Le graphique 5 montre la prédominance de deux groupes de prédateurs, les fourmis (Formicidae) et les coccinelles (*Colegemilla maculata*), respectivement présents aux stades de développement de la chenille 1 à 4 et 1 à 3. Les orius (*Orius insidiosus*) eux ne sont présents qu'aux stades 1 et 2 ; les punaises mirides (*Macrolophus sp.*) lors des stades 3 et 4.

4. Présence d'*Helicoverpa zea* dans la tomate



Graphique 6 Nombre cumulé moyen d'œufs pondus sur les plants de tomate durant toute la période de l'essai en fonction de la distance avec la bordure de maïs.

L'infestation de la parcelle de tomate par *Helicoverpa zea* s'avère être extrêmement faible. En effet seul 61 œufs sont dénombrés sur les 96 plants de tomate pour toute la durée de l'essai. De plus les dégâts attribués aux chenilles observés sur les fruits sont négligeables (seuls 3 fruits observés).

Le graphique 6, montre que le nombre d'œufs pondus sur les plants de tomate durant la période de l'essai diminue proportionnellement à l'augmentation de la distance avec la bordure de maïs. Le test de corrélation de Pearson, confirme la corrélation entre ces deux variables ($R^2 = 0.08$; $p < 5\%$). L'équation linéaire « (nombre d'œufs pondus) = 0.61 x nombre de mâles piégés + 0.006 » est validée par l'analyse de variance ($F_{1,5} = 4.358$; $p < 5\%$). L'analyse de variance n'a pu être effectuée que sur 84 plants, car le taux de mortalité des plants de tomate à 40m de la bordure était trop important. De plus seules les données allant jusqu'au 6 avril ont pu être utilisées car le taux de mortalité sur la parcelle entière était trop important au-delà de cette date.

Tableau 4, Comparaison des pentes de droites théoriques à celle obtenue lors des observations.

Analyse de la variance :					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	0,924	0,924	4,358	0,042
Erreur	50	10,601	0,212		
Total corrigé	51	11,525			

La probabilité de l'indice de Fisher ($Pr > F$) étant inférieure à 0.042, conclure que la variable « Distance en mètre » apporte une quantité d'information significative au modèle ne comporte que 4% de risque d'erreur.

5. Présence de *Bemisia tabaci* dans le milieu

Tableau 5 : Population d'aleurodes dans la parcelle de tomate et sur les panneaux jaunes

Date	Nombre de jours après plantation	Nombre moyen d'aleurode \pm SE / plant de tomate	Nombre total d'aleurodes piégées
25/03/2010	30	0,81 \pm 0,04	18
30/03/2010	35	0,59 \pm 0,11	44
06/04/2010	42	2,53 \pm 0,25	37
12/04/2010	48	0	116
19/04/2010	55	0	42

Dans le cas de *Bemisia tabaci*, les effectifs totaux relevés sur les deux panneaux jaunes ne permettent qu'une moyenne de 51.4 adultes sur les panneaux jaunes par semaine. Les populations de *Bemisia tabaci* observées dans la parcelle de tomate sont faibles (<3 aleurodes/plant) et il n'y a pas de relation entre les aleurodes piégées au vent de la bordure et les aleurodes observées dans la tomate (tableau 5).

IV DISCUSSION

Les résultats obtenus sur la comparaison phénologique de la bordure de maïs et de la parcelle de tomate ont confirmé les résultats des essais précédents en montrant la concordance des stades attractifs de la bordure, c'est-à-dire la période d'émergence des soies et de celui de la tomate qui correspondant à la période de floraison.

La comparaison des phénologies du maïs et de la tomate a été construite à partir du stade phénologique de la bordure dans son ensemble. La comparaison des phénologies n'a pas été faite selon les différentes variétés de maïs semées car l'intérêt était de considérer la bordure de maïs dans son ensemble. Le fait les 2 premiers semis, réalisés 1 mois et 15 jours avant la plantation de tomate, couvrent à eux seuls la période de floraison de la tomate pourrait signifier que deux semis de maïs serait suffisants à détourner *Helicoverpa zea* de la culture de tomate durant un cycle de développement.

On peut noter que dans cet essai, le comportement phénologique de Java ne correspond pas à une variété à cycle long. Pour cet essai, les semences de Java provenaient d'un autre fournisseur, et il pourrait y avoir eu une erreur à ce niveau. Par conséquent un nouvel essai a été mis en afin de vérifier les phénologies des 2 semences de Java, commercialisées en Martinique. Mais cette supposée erreur pourrait démontrer qu'une bordure de maïs composée d'une seule variété (SUGAR) serait tout aussi efficace.

Dans cet essai, L'étude de la colonisation de la bordure de maïs par *Helicoverpa zea* n'a été faite que sur les chenilles présentes sur les soies car cette sous-population est la plus représentative de l'activité de ponte en l'absence d'observations sur les oeufs.

Le nombre moyen de chenilles collectées dans les soies pourrait s'expliquer en partie par la disponibilité en soies fraîches de la bordure. Cette relation pourrait être due à la stratégie de ponte des femelles d'*Helicoverpa zea*, à savoir la dispersion maximum des œufs pour limiter les compétitions intraspécifiques, car à partir d'un certain stade les chenilles deviennent agressives et cannibales entre elles. Ce qui expliquerait que lorsque la bordure comporte beaucoup de plants avec soie fraîche, le nombre de chenilles par épis soit faible.

Il serait alors avantageux de réduire la densité de la bordure de maïs afin de concentrer les pontes sur les mêmes épis. Ce qui aurait pour effet d'augmenter la charge biotique de la population de chenille et donc le taux de mortalité naturelle.

Les résultats montrant que le nombre de chenilles collectées dans le maïs augmente proportionnellement au nombre de mâles piégés, nous supposons que le sex-ratio est de 1 dans la population d' *Helicoverpa zea* et que le nombre de mâle piégé est un indicateur de l'activité des femelles. Des études précédentes ont effectivement montré une forte corrélation entre les captures des mâles d' *Helicoverpa zea* dans les pièges à phéromone et les pontes dans cultures de coton, de tomate (Leonard et al, 1989 ; Izquierdo, 1996).

Les pièges à phéromone pourraient être utilisés pour surveiller l'activité des mâles de la noctuelle, celle-ci étant la conséquence directe de l'activité des femelles fécondes émettant des phéromones. Cependant, cette méthode étant coûteuse, car nécessitant le changement de la phéromone tous les 15 jours, et la capacité de dispersion de *H. zea* étant importante, ce monitoring ne pourrait être réalisé que par une structure professionnelle et à l'échelle de bassin de production.

Au cours de cet essai, la bordure de maïs s'est progressivement peuplée grâce plusieurs vague de colonisation. Les successions de peuplements se font en fonction de la disponibilité des niches écologiques et de la ressource alimentaire disponibles. Ce dispositif a permis d'observer différents ordres d'insectes pouvant coloniser ce type de système et conformément à la littérature plusieurs familles de prédateurs sont observées dans l'agrosystème.

La coccinelle *Coleomegilla maculata* , prédateur généraliste, est la première à coloniser le maïs. À la différence de la plupart des coccinelles, le pollen de plante peut constituer 50% de leur régime alimentaire (Hoffmann et Frodsham, 1993). Les adultes sont peut être capables de reconnaître avec efficacité les espèces végétales généreuses en pollen, et cela expliquerait leur présence avant la présence de pollen dans la bordure de maïs. Bien qu'ayant une préférence pour les pucerons, elle se nourrit aussi des œufs et des jeunes larves de *Helicoverpa zea*. Conformément aux résultats présentés par Seagraves (2009), des attaques des chenilles d'*Helicoverpa*

zea par des larves de *Coleomegilla maculata* ont pu être observées en salle optique au cours de cette étude. C'est au stade larvaire que *Coleomegilla maculata* est la plus efficace sur le contrôle de la population d'*Helicoverpa zea*.

La pression de prédation exercée par les adultes de *Coleomegilla maculata* sur *Helicoverpa zea* a du être encore plus importante lors de cet essai, à cause de la réduction de la quantité de pollen disponible par les abeilles. Mais la disponibilité en pollen d'une plante demeure importante lors de la sélection du site de ponte de *Coleomegilla maculata*, car cette sélection ne se fait pas uniquement en fonction de la disponibilité en proie de la plante hôte (Griffin et Yeargan, 2002).

Un autre prédateur, *Orius insidiosus* (Anthocoridae), est aussi présent dans la bordure. Les attaques sur les chenilles de premier stade d'*Helicoverpa zea* ont également pu être observées en salle optique. Les femelles de cette espèce ne sélectionnent pour leurs sites de pontes que les systèmes de plantes capable de fournir en plus des proies, une gamme variée de nutriments nécessaires au développement des larves (Lundgren et al, 2008a).

D'autres prédateurs telles que les fourmis (Formicidae) et les punaises *Macrolophus* sp. (Miridae) ont été identifiés mais aucune action de prédation n'a été observée directement. Cependant on suppose que les fourmis ont une action de prédation car Pfannenstiel (2002) a pu observé leur prédation sur les œufs de H.zea, en particulier la fourmi de feu rouge *Solenopsis invicta*. Il est indispensable d'identifier les espèces de fourmis présentes dans le maïs afin de vérifier une éventuelle prédation

Il serait intéressant de pouvoir approfondir les modalités de prédation dans un tel agrosystème afin de pouvoir présenter un concept d'agroécosystème plus complet.

Avec une stratégie précise sur les ordres de succession des peuplements auxiliaires il serait possible de favoriser certains prédateurs d'*Helicoverpa zea* au stade de développement où ces derniers seraient les plus efficaces, et ce afin de maximiser la pression de prédation des œufs d'*Helicoverpa zea* et qu'une population de prédateur de chacun des stades de la chenille puissent être présents tout au long du cycle. Il s'agirait d'optimiser les ressources alimentaires du système pour favoriser la colonisation de prédateurs comme les coccinelles et les punaises Orius, certains comme la fourmi étant généralement déjà présent dans le milieu avant implantation du système de culture.

Ces stratégies de contrôle biologique seraient à associer aux éventuels effets de la densité du maïs sur la dynamique de population des chenilles d' *Helicoverpa zea*.

On note que la présence des larves de cécidomyie atteste du mauvais état de la bordure de maïs (pourriture des épis immatures due à l'excédent d'eau).

Au cours de l'essai plus de 360 chenilles d' *Helicoverpa zea* ont été récoltées sur le maïs, qui semble pourtant présenter de forte pression de prédation de ses oeufs. Hors, seulement 60 oeufs ont été dénombrés sur la parcelle de tomate. Sur les 60 oeufs, 15 sont d'ailleurs parasités.

On a observé et d'identifié l'émergence de Trichogrammatidae, guêpe parasitoïdes oophages, des oeufs placés en salle optique, conformément aux résultats de l'étude menée dans la vallée de Sacramento (Californie) par Hoffmann et al. (1990). Les pressions du parasitisme exercé par les trichogrammes pourraient être responsable du fait que peu de dégâts ont été à déplorer sur les fruits de la tomate.

Malgré l'absence d'une parcelle de tomate témoin sans bordure, ces différences importantes d'infestation permettraient de démontrer l'efficacité du système de piégeage d' *Helicoverpa zea* par le maïs.

Par ailleurs, les résultats ont montré que la densité des oeufs était plus importante dans les premières lignes de tomate, proches de la bordure de maïs. Nous supposons que cela est dû à un effet de contagion par la promiscuité des premières lignes de distance de la tomate avec la bordure de maïs, et non à une recherche active de site ponte de la part des adultes. *H. zea* vole contre le vent et la parcelle de tomate se trouvant sous le vent de la bordure de maïs, les volatiles du maïs pourraient couvrir la parcelle de tomate sur une courte distance et, donc, les noctuelles pondraient sur les plants de tomate se trouvant à proximité du maïs.

Afin d'éviter l'infestation des plants de tomate, il faudrait placer la bordure de maïs éloignée de la parcelle de tomate. En Martinique, les parcelles de tomate ayant de petites superficies, la simple présence d'une parcelle de maïs dans l'agrosystème pourrait peut-être suffire à détourner la noctuelle de la tomate.

L'agencement spatial de cet agrosystème devrait alors faire l'objet d'expérimentation supplémentaire afin de vérifier si la distance (à plus grande échelle) entre la parcelle

de tomate et le maïs aurait une incidence sur l'efficacité du piégeage d' *Helicoverpa zea*. et si une culture en bordure serait indispensable pour créer une barrière physique contre.

Les résultats de cette étude montrent une faible population de *Bemisia tabaci* dans la parcelle de tomate. Cependant nous ne pouvons pas affirmer que cela est dû à un effet barrière de la bordure de maïs car les populations d'aleurodes piégées étaient aussi basses. Il serait donc nécessaire de prendre en compte la présence d'une population significative de *Bemisia tabaci* en tant que critères de choix d'un emplacement pour un futur essai de cette nature et aussi réfléchir peut-être à un autre dispositif que permettrait de faire des comparaisons entre différentes modalités.

Au cours de cette expérimentation, la parcelle de tomate fut ravagée par la bactérie responsable du flétrissement bactérien *Ralstonia solanacearum* et les plants de tomate n'ont donc pas eu le temps de parvenir au stade de récolte avéré (premier fruit mûr).

Mais cette attaque a tout de même permis de cartographier la répartition de *Ralstonia solanacearum* dans la parcelle de tomate lors de la contagion clairement accélérée par l'arrivée des pluies suite à la période de sécheresse connue lors des débuts de l'essai (voir annexe 2).

V CONCLUSION

Cette étude a démontré l'impact d'une bordure de maïs en tant que culture piège contre le ravageur *Helicoverpa zea* de la tomate.

Les faibles taux d'infestation de la culture de tomate indiquent que le système s'est montré efficace contre *Helicoverpa zea* , bien que des observations plus approfondies sur la dynamique de cette population auraient apporté plus de précisions sur le comportement de cette espèce (taux de natalité, mortalité par prédation, etc.).

Des expérimentations plus avancées devraient être réalisées afin de développer les connaissances acquises sur :

- l'écologie des chenilles de *Helicoverpa zea*
- le peuplement de la bordure de maïs et son ordre de succession, afin d'envisager d'éventuelles assistances de la culture piège par un control biologique.
- le rôle de la disposition spatiale de ce système de culture

Cependant, le facteur limitant de ce dispositif c'est avéré être la flétrissement bactérien, maladie due à la bactérie tellurique *Ralstonia solanacearum*. Il serait par conséquent intéressant d'intégrer au système tomate/maïs des plantes de service apportant un service d'assainissement visant à optimiser le contrôle du flétrissement bactérien.

Enfin si le but de cette démarche est de mettre au point un système de culture viable pour la culture de tomate en Martinique, il ne serait pas sans intérêt sur le long terme de chercher à rentabiliser l'ensemble des composants du système avec des travaux de sélection de variétés de maïs attractives mais assez résistantes à *Helicoverpa zea* pour permettre une récolte.

Bibliographie

- Abate, T. (1988). Experiments with trap crops against african bollworm, *heliopsis armigera*, in ethiopia. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 48(2), 135-140.
- Abdelhaq Hanafi. (2000). La mouche blanche et le virus des feuilles en cuillère de la tomate (TYLCV). *Transfert De Technologie En Agriculture*, n°73
- Altieri, M. A. (1989). Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, 27, 37-46.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2004). *Biodiversity and pest management in agroecosystems* (the haworth press ed.). New York:
- Audemard Henri. (2007). L'image de l'agriculture et du monde rural. *La Lettre d'information Adalia*, n°58
- Aumand, B. (2008). Le seuil des 25 000 hectares de surface agricole utilisée (S.A.U) est menacé. *Agreste Martinique*, n°6
- Ayalew, G., Sciarretta, A., Baumgärtner, J., Ogot, C., & Löhr, B. (2008). Spatial distribution of diamondback moth, *plutella xylostella* L. (lepidoptera: Plutellidae), at the field and the regional level in ethiopia. *International Journal of Pest Management*, 54(1), 31-38.
- Bagny, L., Delatte, H., Elissa, N., Quilici, S., & Fontenille, D. (2009). *Aedes* (diptera: Culicidae) vectors of arboviruses in mayotte (indian ocean): Distribution area and larval habitats. *Journal of Medical Entomology*, 46(2), 198-207.
- Benton Jones, J. (1999). *Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden* (CRC Press ed.)
- Blancard, D. (1988). *Maladies de la tomate: Observer, identifier, lutter* (INRA editions ed.). Paris:
- Brown, J. K., & Bird, J. (1992). Whiteflies transmitted geminiviruses in the americas and the caribbean basin: Past and present. *Plant Disease*, n°76, 220-225.
- Cabanillas, H., & Raulston, J. R. (1996). Evaluation of *steinernema riobris*, *S-carapocapsae*, and irrigation timig for the control of corn earworm *helicoverpa zea*. *Journal of Nematology*, 28, 75-82.
- Cantelo, W. W., & Jacobson, M. (1998). Corn silk volatiles attract many pest species of moths. *Journal of Environmental Science and Health*, 14(8), 695-707.
- Capinera, J. L. (2007). *Featured creatures*.http://www.entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/corn_earworm.htm#dist
- Chambre d'Agriculture de la Martinique. (2006). *Compte rendu de la journées technique tomate : Itinéraire technique de la tomate en martinique*
- Chaturvedi, I. (2007). Economic threshold level and monitoring systems: Reality and practicality in *helicoverpa armigera* (lepidoptera: Noctuidae). *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 6(7), 2199-2206.
- Chilcutt, C. F. (2006). Cannibalism of *helicoverpa zea* (lepidoptera: Noctuidae) from *bacillus thuringiensis* (bt) transgenic corn versus non-bt corn. *Journal of Economic Entomology*, 99(3), 728-732.
- Claudio Nunes. (2006). *Lutte contre la mouche blanche (Bemisia tabaci) en milieu tropical*. Unpublished Doctorat en biologie, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Coe, E. H. J., Nueffer, M. G., & Hoisington, D. A. (1988). *The genetics of maize* (In G.F Sprague and J.W. Dudley, Eds. ed.). Madison, Wisconsin:
- Coll, M. a. B.,D.G. (1991). Microhabitat and resource selection of the european corn borer (lepidopyera: Pyralidae) and its natural enemies in maryland field corn. *Environmental Entomology*, 20, 526-533.

- Collins, P. M. (2005). *Dictionary of carbohydrates* (CRC Press ed.)
- Csizinszky, A. A., Schuster, D. J., & Kring, J. B. (1995). Color mulches influence yield and insect pest population in tomatoes. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 120, 778-784.
- D.J. Schuster, P.A. Stansley and J.A. Polston. (1996). Expression of plant damage by *bemisia*. In D. Gerling and R.T. Mayer, Editors (Ed.), *Bemisia 1995, taxonomy, biology, damage, control and management, intercept.* ()
- Dalgaard, T., Hutchings, N. J., & Porter, J. R. (2003). Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 100(1-3), 39-51.
- Deguine, J., & Ferron, P. *Protection des cultures et développement durable: bilan et perspectives*. Unpublished manuscript.
- Deguine, J., Ferron, P., & Russel, D. (2008). *Protection des cultures. de l'agrochimie à l'agroécologie*. (QUAE ed.). Nancy:
- Denno, R. F. (1983). Tracking variable host plants in space and time. In R.F.Denno and M.S.McClure (Ed.), *Variable plants and herbivores in natural and managed systems* (pp. 291-341). New York: Academic Press.
- Di Pietro, F., & Genin, A. (2001). *Les bordures de champ : Diversité, déterminants agricoles et paysagers, effets sur la biodiversité et sur la lutte intégrée en zone de grande culture*
- Digat, B. a. E.,A. (1967). Reconnaissance du flétrissement bactérien des solanées aux antilles françaises. *Phytiatr. Phytopharm*, 16, 187-197.
- Direction de l'Agriculture et de la Forêt de la Martinique. (2009). La statistique agricole, memento agricole 2009 (résultats 2008). *Agreste Martinique*,
- Dupraz Christian. (2005). Entre agronomie et écologie: Vers la gestion d'écosystèmes cultivés. *DEMETER*,
- Ebeling, W. T., Nishida, T., & Bess, H. A. (1953). Fiels experiments on the control of the melon fly, *dacus cucurbitae*. *Hilgardia*, 21, 563-591.
- Ellsworth, P. C., & Martinez-Carrillo, J. L. (2001). IPM for *bemisia tabaci*: A case study from north america. *Crop Protection*, n°20
- Ferron, P. (2007). La lutte biologique: Définition, concept et stratégie. *Les Dossiers De l'Environnement*, n°19
- Fitt, G. P. (1989). The ecology of heliothis species in relation to agrosystems. *Annual Review of Entomology*, 34
- Gerling, D., O. Alomar, et al. (2001). Biological control of *bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection*, 20(9), 779-799.
- Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture.* (). Chelsea: Ann Arbor Press.
- Griffin, M. L., & Yeargan, K. V. (2002). Factors ppenentially affecting ovoposition site selection by the laydybeetle *coleomegilla maculata* (coleoptera : Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 31(1), 112-119.
- Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Altieri, M. A. (2004). *Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods* (CSIRO ed.). Australia: CSIRO Publishing.
- Hasler, B., Dalgaard, T., Elmegaard, N., Heidmann, T., Langer, V., Mogensen, L., et al. (2003). *Ecological and economic effects of conversion to organic agriculture in denmark: An interdisciplinary system simulation analysis at local scale*
- Hitchcock, A. S., & Chase, A. (1971). *Manual of the grasses of the united states* (Dover Publications ed.). N-Y:

- Hoffmann, M.P. and Frodsham, A.C. (1993). In Cooperative Extension (Ed.), *Natural enemies of vegetable insect pests*. Cornell University, Ithaca, NY:
- Hoffmann, M. P., Wilson, L. T., Zalom, F. G., & Hilton, R. J. (1990). Parasitism of *heliiothis zea* (lepidoptera: Noctuidae) eggs: Effect on pest management decision rules for processing tomatoes in the sacramento valley of california . *Environmental Entomology*, 19(3), 753-763.
- Hokkanen, H. M. T. (1991). Trap cropping in pest managemen. *Annual Review of Entomology*, 36, 119-138.
- Hormchan, P., Wongpiyasatid, A., & Prajimpun, W. (2009). Influence of trap crop on yield and cotton leafhopper population and its oviposition preference on leaves of different cotton varieties/lines. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 43(4), 662-668.
- International Food Biotechnology Council. (1990). *Biotechnologies and food: Assuring the safety of foods produced by genetic modification*
- Izquierdo, J. I. (1996). *Helicoverpa armigera* (hübner) (lep., noctuidae) : Relationship between captures in pheromone traps and egg counts in tomato and carnation crops. *Journal of Applied Entomology*, 120(1-5), 281-290.
- Jacobson, A., Foster, R., Krupke, C., Hutchison, W., Pittendrigh, B., & Weinzierl, R. (2009). Resistance to pyrethroid insecticides in *helicoverpa zea* (lepidoptera: Noctuidae) in indiana and illinois. *Journal of Economic Entomology*, 102(6), 2289-2295.
- Jallow, M. F. A., Paul Cunningham, J., & Zalucki, M. P. (2004). Intra-specific variation for host plant use in *helicoverpa armigera* (hübner) (lepidoptera: Noctuidae): Implications for management. *Crop Protection*, 23(10), 955-964.
- Javaid, I., Joshi, J., Dadson, R. B., Hashem, F. M., & Allen, A. L. (2005). The potential of bt corn as a trap crop for the control of corn earworm, *helicoverpa zea* boddie, in soybean. *Journal of Sustainable Agriculture*, 26(1), 115-121.
- Jiang, Y. X., De Blas, C., Bedford, I. D., Nombela, D., & Muñoz, M. (2004). Effect of *bemisia tabaci* biotype in the transmission of *tomato yellow leaf sardinia curl virus* (TYLCSV-ES) between tomato and common weeds. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2
- Kareiva, P. M. (1993). Influence of vegetation texture on herbivore populations: Resource concentration and herbivore movement. In R.F.Denno and M.S.McClure (Ed.), *Variable plants and herbivores in natural and managed systems* (pp. 259-289). New York: Academic Press.
- Keith Gouglas Warner. (2006).
Agroecology in action: Social networks extend alternative agriculture. (MIT Press ed.,)
- King, E. G., & Coleman, R. J. (1989). Potential for biological control of *heliiothis* species. *Annual Review of Entomology*, n°34, 53-75.
- Le Centre d'Essais Horticoles de Wallonie. (2005). *Protection biologique intégrée (PBI) en cultures ornementales*.www.walhorti.com/html/cehw.html
- Leonard, R. B., & Graves, J. B. e. a. (1989). *Heliiothis* spp. (lepidoptera: Noctuidae) captures pheromone traps: Species composition and relationship to oviposition in cotton. *Journal of Economic Entomology*, 82, 574-579.
- Lima, L. H. C., Návia, D., Inglis, P. W., & de Oliveira, M. R. V. (2000). Survey of *bemisia tabaci* (gennadius) (hemiptera: Aleyrodidae) biotypes in brazil using RAPD markers. *Genetics and Molecular Biology*, 23
- Lincoln, C. a. I.,D. (1947). Corn as a trap crop for the cotton bollworm. *Journal of Economic Entomology*, 40, 437-438.
- Lundgren, J. G., Fergen, J. K., & Riedell, W. E. (2008a). The influence of plant anatomy on ovoposition and reproductive succes of the omnivorus bug, *orius insidiosus*. *Animal Behaviour*, 75, 1495-1502.

- Lundgren, J. G., Wychhuys, K. A. G., & Desneux, N. (2009). Population responses by *Orius insidiosus* to vegetational diversity. *Biocontrol*, 54, 135-142.
- M. N. Parajulee, D. R. Rummel, M. D. Arnold, and S. C. Carroll. (2004). Long-term seasonal abundance patterns of *helicoverpa zea* and *heliiothis virescens* (lepidoptera: Noctuidae) in the texas high plains. *Journal of Economic Entomology*, 97(2), 668-677.
- Malausa, J. C., & Marival, D. (1981). Etude de la dynamique des populations des chenilles de *spodoptera frugiperda* abbot & smith et d'*heliiothis zea* boddie (lepidoptera noctuidae) sur deux variétés de maïs en guadeloupe (antilles françaises). *Agronomy for Sustainable Development*, 1(Agronomy), 701-706.
- Michael P. Seagraves. (2009). Importance of predation by *coleomegilla maculata* larvae in the natural control of the corn earworm in sweet corn . *Biocontrol Science and Technology*, 19(10), 1067-1079.
- Midega, C. A. O., Khan, Z. R., Van den Berg, J., Ogot, C. K. P. O., Bruce, T. J., & Pickett, J. A. (2009). Non-target effects of the 'push-pull' habitat management strategy: Parasitoid activity and soil fauna abundance. *Crop Protection*, 28(12), 1045-1051.
- Miller, J. R., & Cowles, R. S. (1990). Stimulo-deterrent diversion: A concept and its possible application to onion maggot control. *Journal of Chemical Ecology*, n°16, 197-212.
- Moriame, E., & Frenet, F. (2008). La croissance s'essoufle. *Les Comptes Économiques De La Martinique En 2007*, n°8
- Nibouche, S. (1992). Acariens, diplopodes et insectes phytophage associé à la culture cotonnière au burkina faso. *Cotton Et Fribres Tropicales*, n°47, 305-312.
- Pfannenstiel, R. S. a. Y.,K.V. (2002). Identification and diel activity patterns of predators attacking *helicoverpa zea* eggs in soybean and sweet corn. *Environmental Entomology*, 31, 232-241.
- Pfannenstiel, R. S. 2004. Nocturnal Predation of Lepidopteran Eggs in South Texas Cotton– 2002, pp. 1594-1600. In "Proceedings, Beltwide Cotton Conference, National Cotton Council." Memphis, TN.
- Pierre Rabhi. (2005, 23 novembre). L'agroécologie expliquée en 10 points par pierre rabhi. *Passerelle-Eco*, n°9
- Pilcher, C. D., & Rice, M. (2003). Economic analysis of planting dates to manage european corn borer (lepidoptera: Crambidae) with bt corn. *Journal of Economic Entomology*, 96, 941-949.
- Pyke, B., Rice, M., Sabine, B., & Zalucki, M. (1987). The push-pull strategy: Behavioural control of *heliiothis*. *Aust.Cotton.Grow.*, , 7-9.
- R. S. Pfannenstiel and K. V. Yeargan. (2002). Identification and diel activity patterns of predators attacking *helicoverpa zea* (lepidoptera: Noctuidae) eggs in soybean and sweet corn. *Environmental Entomology*, 31(2), 232-241.
- Raina, A. K., & Kingan, T. G. e. a. (1992). Chemical signals from host plant and sexual behavior in a moth. *Science*, 255(5044), 592-594.
- Rasmann, C., Graham, J. H., Chellemi, D. O., Datnoff, L. E., & Larsen, J. (2009). Resilient populations of root fungi occur within five tomato production systems in southeast florida. *Applied Soil Ecology*, 43(1), 22-31.
- Rector, B. G., Snook, M. E., & Widstrom, N. W. (2002). Effect of husk characters on resistance to corn earworm (lepidoptera: Noctuidae) in high-maysin maize populations. *Journal of Economic Entomology*, 95, 1303-1307.
- Région Martinique. (2003, 1 décembre). Phytosanitairement vôtre. *Journal d'Information De La Direction De l'Agriculture Et De La Forêt/ Service De La Protection Des Végétaux*,
- Risch, S. J. (1981). Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polucultures: An experiment test of two hypotheses. *Ecology*, 62, 1325-1340.

- Roland Schröder, and Monika Hilker. (2008). The relevance of background odor in resource location by insects: A behavioral approach. *Bioscience*, 58(4), 308-316.
- Root, R. B. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The fauna of collards (*brassica oleracea*). *Ecological Monographs*, 43, 95-153.
- Ruther Joachim, & Kleier Sven. (2005). Plant-plant signaling : Ethylene synergizes volatile emission in ze mays induced by exposure to (Z)-3-hexen-1-ol. *Journal of Chemical Ecology*, 31(09), 2217-2222.
- Ryckewaert, P. (1998). *Guide de reconnaissance des insectes et acariens des cultures maraîchères des petites antilles* (CIRAD-FLHOR Martinique ed.). Martinique:
- S. Finch and R.H. Collier. (2000). Host plant selection by insects - a theory based on „appropriate/inappropriate landings“ by pest insects of cruciferous plants. . *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 96, 91-102.
- Saeed, S., Sayyed, A. H., & Ahmad, I. (2009). Effect of host plants on life-history traits of *spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Pest Science*, , 1-8.
- Seagraves, M. P. (2009). Importance of predation by *coleomegilla maculata* larvae in the natural control of the corn earworm in sweet corn. *Biocontrol Science and Technology*, 19(10), 1067-1079.
- Shelton, A. M., & Badenes-Perez, F. R. (2005). Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*,
- Snodderly, L. J., & Lambdin, P. L. (1982). Oviposition and feeding sites of *heliiothis zea* on tomato. *Environmental Entomology*, 11(2), 512-515.
- Station d'Essais en Culture Irriguées (SECI). (2002). *Techniques agrobiologiques appliquées aux cultures irriguées*
- Suh, C. P. C., Orr, D. B., & Van duyn, J. W. (2000). Trichogramma releases in north carolina cotton : Why releases fail to suppress heliothine pests. *Journal of Economic Entomology*, 93, 1137-1145.
- Toby J.A. Bruce, Lester J. Wadhams and Christine M. Woodcock. (2005). Insect host location : A volatile situation. *Plant Science*, 10(6)
- Turlings, T. C. J., Tumlinson, J. H., & Lewis, W. J. (1990). Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps *Science*, 250. no. 4985, 1251-1253.
- Welty, N., Radovich, C., Meulia, T., & Van der Knaap, E. (2007). Inflorescence development in two tomato species. *Canadian Journal of Botany*, 85, 111-118.
- Wicker, E., L. Grassart, D. Mian, R. Coranson Beaudu, D. Dufeal, C. Guilbaud, and P. Prior. (2002). *Cucumis melo*, *cucumis sativus*, *cucurbita moschata*, and *Anthurium* spp., new hosts of *ralstonia solanacearum* in martinique (french west indies. *Bacterial Wilt Newsl*, 17, 20-21.
- Wicker, E. (2003). Flétrissement bactérien (*ralstonia solanacearum*) en martinique et à la réunion : Deux contextes spécifiques, des questions communes. In Kahane Rémi (Ed.), *Productions maraîchères et horticoles : Sessions lutte intégrée et agronomie* ()
- Xavier Le Roux, Robert Barbault, Jacques Baudry, Françoise Burel, Isabelle Doussan, Eric Garnier, Félix Herzog, Sandra Lavorel, Robert Lifran, Jean Roger-Estrade, Jean-Pierre Sarthou, Michel Trommetter. (2008). *Agriculture et biodiversité: Valoriser les synergies* No. Rapport d'expertise collective de l'INRA)
- Zeidan, M., Cohen, J., & Gera, A. (1998). Improved purification and molecular properties of ornithogalum mosaic virus in israel. *Annals of Applied Biology*, n°133, 167-176.

Annexe 1

Matrice de corrélation (Pearson) :

Variables	LN (soies)	ARS%
LN (soies)	1	-0,316
ARS%	-0,316	1

p-values :

Variables	LN (soies)	ARS%
LN (soies)	0	< 0,0001
ARS%	< 0,0001	0

Coefficients de détermination (R^2) :

Variables	LN (soies)	ARS%
LN (soies)	1	0,100
ARS%	0,100	1

Tableau 1, Test de corrélation entre le nombre moyen de chenilles collectées sur les soies et le pourcentage de plants ayant des soies fraîches dans la bordure.

Tableau 2, test de corrélation de Pearson, confirme la corrélation entre le nombre total de chenilles collectées sur les soies et le nombre d'adulte mâles piégés par semaine.

Matrice de corrélation (Pearson) :

Variables	nbre che soies	Adultes
nbre che soies	1	0,906
Adultes	0,906	1

p-values :

Variables	nbre che soies	Adultes
nbre che soies	0	0,013
Adultes	0,013	0

Coefficients de détermination (R^2) :

Variables	nbre che soies	Adultes
nbre che soies	1	0,822
Adultes	0,822	1

Annexe 2 ,Climatologie du site d'expérimental durant la période de l'essai

DATE	Temp Moyenne (°C)	Humidité relative (%)	Pluviométrie (mm)	
08/02/2010	23,70	81,17	0,00	Semaine1
09/02/2010	24,66	79,28	0,00	
10/02/2010	24,44	77,18	0,00	
11/02/2010	23,15	81,52	0,20	
12/02/2010	23,07	80,56	0,20	
13/02/2010	23,34	79,50	0,00	
14/02/2010	24,11	78,33	0,00	
15/02/2010	24,44	80,24	0,20	Semaine2
16/02/2010	26,12	69,74	0,00	
17/02/2010	26,03	71,28	0,20	
18/02/2010	24,70	80,43	0,20	
19/02/2010	24,58	77,69	0,00	
20/02/2010	23,95	76,97	0,20	
21/02/2010	24,34	77,04	0,60	
22/02/2010	23,55	77,65	0,20	Semaine3
23/02/2010	24,89	77,62	0,00	
24/02/2010	25,12	77,97	0,00	
25/02/2010	25,19	79,00	0,20	
26/02/2010	24,72	81,16	0,00	
27/02/2010	24,52	82,12	0,20	
28/02/2010	25,22	79,33	0,00	
01/03/2010	24,67	80,48	0,00	Semaine4
02/03/2010	25,58	76,99	0,00	
03/03/2010	26,58	71,64	0,00	
04/03/2010	26,70	73,78	0,00	
05/03/2010	26,47	75,30	0,00	
06/03/2010	25,03	76,56	0,00	
07/03/2010	24,60	76,45	0,00	
08/03/2010	24,75	79,71	0,00	Semaine5
09/03/2010	25,97	79,55	0,80	
10/03/2010	25,19	80,26	0,20	
11/03/2010	25,17	79,30	0,20	
12/03/2010	23,62	87,04	35,60	
13/03/2010	24,96	76,49	0,00	
14/03/2010	25,85	72,99	0,00	
15/03/2010	24,96	84,79	3,20	Semaine6
16/03/2010	25,92	80,51	0,00	
17/03/2010	25,77	79,21	0,20	
18/03/2010	26,64	73,73	0,00	
19/03/2010	26,82	70,49	1,00	
20/03/2010	26,82	69,50	0,00	
21/03/2010	26,45	70,85	0,00	
22/03/2010	25,64	79,63	16,00	Semaine7
23/03/2010	26,25	75,18	11,20	
24/03/2010	26,49	72,51	3,60	
25/03/2010	25,04	83,00	58,60	
26/03/2010	25,50	74,49	2,20	
27/03/2010	24,72	80,86	4,20	
28/03/2010	25,21	76,04	0,40	

DATE	Temp Moyenne (°C)	Humidité relative (%)	Pluviométrie (mm)	
29/03/2010	25,14	74,84	0,20	Semaine8
30/03/2010	26,36	74,33	3,80	
31/03/2010	26,56	73,68	0,40	
01/04/2010	25,86	77,32	0,00	
02/04/2010	24,26	84,67	12,60	
03/04/2010	24,34	80,17	0,00	
04/04/2010	24,63	80,17	0,00	
05/04/2010	25,69	74,64	0,00	Semaine9
06/04/2010	25,16	78,52	49,60	
07/04/2010	24,36	80,82	7,80	
08/04/2010	25,59	72,31	0,00	
09/04/2010	24,18	85,43	44,80	
10/04/2010	24,09	88,05	28,20	
11/04/2010	24,53	87,07	82,80	
12/04/2010	25,22	83,63	1,20	Semaine10
13/04/2010	24,98	86,24	72,00	
14/04/2010	24,96	88,15	21,00	
15/04/2010	24,90	89,19	5,60	
16/04/2010	24,58	85,78	0,60	
17/04/2010	25,14	86,39	34,80	
18/04/2010	25,29	85,85	16,40	
19/04/2010	25,89	80,05	1,20	Semaine11
20/04/2010	26,26	81,26	0,00	
21/04/2010	25,93	82,99	0,00	
22/04/2010	25,91	83,51	1,00	
23/04/2010	26,51	83,21	0,20	
24/04/2010	26,26	82,78	0,20	
25/04/2010	25,97	81,28	0,00	

	Temp Moyenne (°C)	Pluviométrie (mm)	Humidité relative (%)
semaine 1	23,78	0,06	79,65
semaine 2	24,88	0,20	76,20
semaine 3	24,74	0,09	79,27
semaine 4	25,07	0,00	75,88
semaine 5	25,07	5,26	79,33
semaine 6	26,20	0,63	75,58
semaine 7	25,55	13,74	77,39
semaine 8	25,31	2,43	77,88
semaine 9	24,80	30,46	80,98
semaine 10	25,01	21,66	86,46
semaine 11	26,10	0,37	82,15

Annexe 3, Mésofaune de la bordure de maïs



Chrysomèle (CHRYSOMELIDAE)



Coccinelle (*Coleomegilla maculata*)



Punaise prédatrice (*Zelus longipes*)



Orius (*Orius insidiosus*), Tom Murray, 2007



Cécidomyie de la tomate (*Contarinia lycopersici*)
www.omafra.gov.on.ca



Punaise miride (*Macrolophus sp.*) Nigel Cattlin



DELAPHACIDAE farm4.static.flickr.com

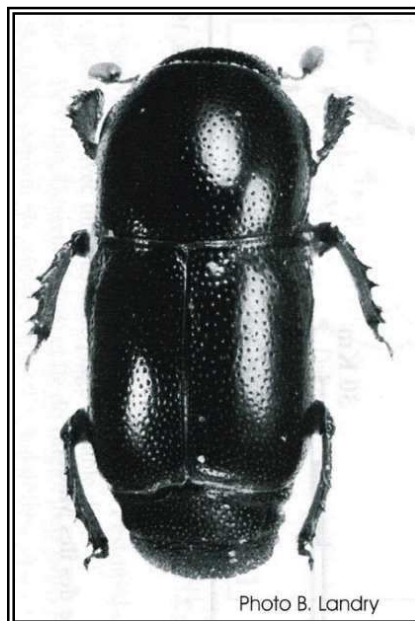


Photo B. Landry

HISTERIDAE www.imep-cnrs.com



Abeilles (APIDAE)



Guêpe parasitoïde (ULIDIDAE) <http://www.wur.nl>

Annexe 4, Piège à phéromone



Piège à phéromone (sexuelle) de type Helioglyph distribué par Solida-Canada. C.Thibaut